

Comportamento termico dei solai in laterocemento

Alcune considerazioni, desunte dalla letteratura scientifica, permettono di ricostruire un quadro del ruolo che i diversi componenti di un solaio laterocementizio hanno nei confronti del comportamento termico dell'intero sistema di separazione: dalla conoscenza delle modalità di trasmissione del calore, dei criteri su cui si basano i relativi calcoli e dalla comparazione fra diverse tipologie, si possono trarre conclusioni su cui costruire ipotesi per strategie di miglioramento delle prestazioni

Trasmissione del calore e criteri di calcolo Nella progettazione ed esecuzione di un solaio che costituisca chiusura di un edificio o, comunque, sistema di separazione fra zone a diverse condizioni di temperatura e di pressione di vapore acqueo, si deve necessariamente effettuare un controllo degli scambi termoigrometrici che avvengono attraverso di esso.

L'analisi del comportamento termico di un solaio in laterocemento è resa complicata da una molteplicità di fattori, quali la presenza di più materiali con diversa conducibilità termica (il calcestruzzo, l'acciaio delle armature ed il laterizio, trascurando in questa sede i materiali delle ulteriori stratificazioni sovrastanti), che possono presentarsi in una grande varietà morfologica e dimensionale. In Italia, l'Associazione di categoria, ANDIL Assolaterizi, ha rilevato, attraverso una apposita indagine, che esistono tre principali tipologie di solai laterocementizi le quali, da sole, coprono circa l'85% della produzione totale: gettati in opera, a travetti prefabbricati e blocchi, prefabbricati (fig. 1).

Mentre la conducibilità termica dell'acciaio si ritiene generalmente costante, per quanto riguarda il laterizio ed il calcestruzzo, anche considerando quest'ultimo come materiale omogeneo, tale parametro è funzione del peso specifico del materiale, del tenore di umidità, della natura delle materie prime e delle lavorazioni a cui esso è stato sottoposto.

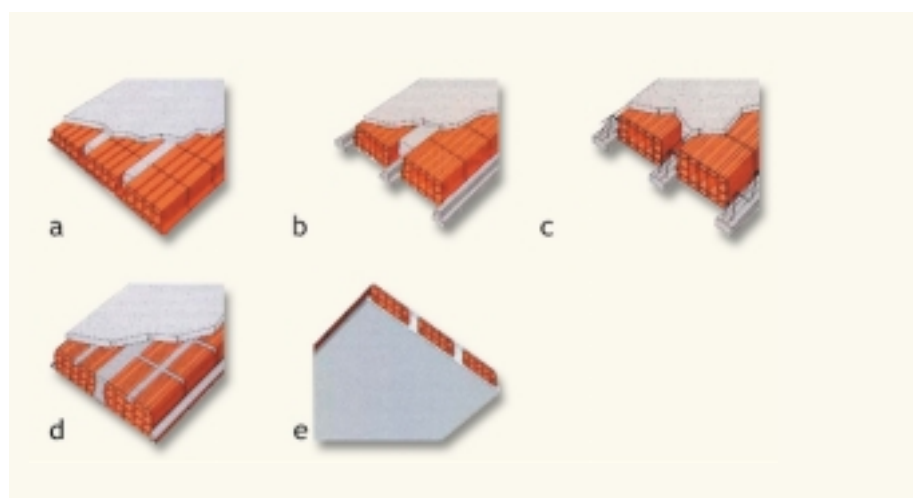
La conformazione degli stessi elementi in laterizio, inoltre, accresce la complessità dei fenomeni di trasmissione del calore, perché, all'interno dei vuoti, avvengono scambi sia per conduzione che per convezione ed irraggiamento (fig. 2).

In linea generale, i flussi termici attraverso strutture formate da più strati di materiali diversi avvengono con dinamiche

analoghe a quelle di una struttura monostrato, con la sola differenza che, per ogni strato, varia la conducibilità caratteristica e quindi il "contributo" sulla conducibilità totale. La resistenza termica globale di una struttura multistrato la si calcola perciò come sommatoria dei contributi parziali:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{S_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}$$

dove S_i sono gli spessori dei vari strati, λ_i sono le rispettive conducibilità, mentre α_1 e α_2 sono i coefficienti liminari che dipendono dalle caratteristiche superficiali della struttura.^[1]



1. a) solaio con elementi per getto in opera; b) solaio con elementi interposti e travetti in cemento armato precompresso; c) solaio con elementi interposti e travetti tralicciati; d) pannelli prefabbricati per solaio in laterocemento ad armatura lenta; e) pannelli prefabbricati per solaio in laterocemento precompresso (fonte: www.solaioinlaterizio.it).

Poiché la complessità geometrica di un solaio non rende agevole applicare questo criterio di calcolo, in passato si preferiva determinare il comportamento termico degli orizzontamenti in laterizio mediante prove di laboratorio, condotte secondo la norma americana A.S.T.M. C 236-66.^[2]

La scelta di effettuare prove di laboratorio comporta però l'introduzione di una serie di fattori difficilmente controllabili, che pure influiscono in maniera determinante sul comportamento del provino e rendono perciò limitata l'applicabilità dei risultati sperimentali.

Una prima difficoltà è individuabile nella carenza di indicazioni accurate sulle modalità di confezionamento del provino, nonché di specifiche precise sui materiali componenti: una serie di variabili praticamente ignote sia al prescrittore che all'utilizzatore del certificato producibile. Inoltre, le condizioni igrometriche del pannello sottoposto a prova sono passibili di forti variazioni in base al tempo trascorso dal giorno della produzione dei materiali e del confezionamento del manufatto ed il momento di effettuazione dei test. Infine, nelle diverse prove vengono imposti temperature interne ed esterne ed un gradiente termico sempre diversi, cosicché si debbono per forza assumere coefficienti liminari di scambio termico sempre differenti. Questi fattori limitano la riproducibilità delle prove e fanno sì che due strutture, seppur apparentemente identiche, verificate in laboratorio in tempi diversi, possano fornire risultati tutt'altro che confrontabili. In Italia esiste un metodo di calcolo teorico ben definito, ed è contenuto nella norma UNI 10355, la prima norma italiana che stabilisce un criterio di determinazione dei valori di resistenza termica per murature e solai, facente parte del pacchetto di norme UNI attuative del D.P.R. 26/8/1993, n. 412 (Legge 10/1991) e recepite il 6 agosto 1994.

Il vantaggio introdotto da questa norma consiste nel fatto che,

data una parete (o un solaio) composta da materiali diversi, si può calcolarne la resistenza termica tenendo in considerazione la reale geometria e le caratteristiche termiche dei materiali che la compongono, riferendosi per queste ultime a certificazioni di laboratorio eseguite con modalità ben definite. Fra i dati di partenza è prevista anche la conducibilità termica delle "lame d'aria" presenti nelle forature degli elementi di laterizio, determinabile con criteri specificati nella norma stessa. A differenza di quanto accade con le prove di laboratorio, il calcolo delle prestazioni termiche di due solai uguali, ovunque ed in qualunque momento venga effettuato, deve portare sempre al medesimo risultato.

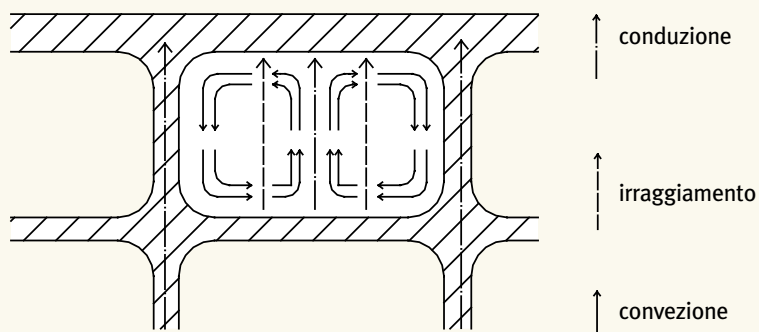
"L'operazione di calcolo può, a prima vista, sembrare complicata in quanto prevede l'impiego del metodo agli elementi finiti. In realtà, disponendo di un adeguato programma di analisi, si possono ottenere risultati molto precisi e confrontabili in un tempo ragionevolmente limitato.

L'efficacia dell'analisi agli elementi finiti risiede proprio nella possibilità di studiare e schematizzare qualsiasi tipo di geometria. È bene precisare subito che i valori che si ricavano dall'applicazione della norma sono mediamente peggiorativi e comunque non confrontabili con quelli derivanti da prove di laboratorio per le diverse condizioni poste come ipotesi di base per il calcolo".^[2]

La norma UNI 10355 contiene dei prospetti (figg. 3 e 4) nei quali sono considerate diverse tipologie di solai: per ciascuna di esse sono indicate tutte le caratteristiche geometriche degli elementi componenti (dimensioni, percentuale di foratura, ecc.), la massa volumica e superficiale della struttura, le caratteristiche dei giunti di malta ed il valore di resistenza termica dell'intero "pacchetto" già calcolato.

Una struttura, pertanto, può essere valutata dal punto di vista termico assumendo i dati relativi a quella più simile eventualmente presente, verificando la similitudine in base al tipo di materiale costituente, alla sua massa volumica, al numero di fori ed alla loro geometria e distribuzione.

Il confronto fra elementi forati è possibile solo se il numero dei fori disposti nella direzione dello spessore è uguale nei due elementi confrontati; questo perché la resistenza termica di una struttura in laterizio è legata sia alla geometria che alla disposizione dei fori degli elementi componenti e due blocchi di uguali dimensioni e peso non possono essere confrontati se hanno un numero di fori diverso. In alternativa, la norma consente di valutare il comportamento termico di qualunque struttura utilizzando il calcolo con il metodo agli elementi finiti secondo la procedura indicata nell'appendice della norma stessa. Per effettuare questo calcolo si assumono alcune ipotesi, fra cui: la possibilità di desumere dalla norma UNI 10351 le conducibilità termiche dei materiali costituenti gli elementi componenti la struttura; la valutazione delle cavità degli elementi (i fori nel caso dei blocchi in laterizio) come se fossero riempite di un materiale di conducibilità equivalente λ_e pari



2. Schema dei flussi di calore all'interno degli spazi vuoti (ridisegnato da P. Bondi, P. Stefanizzi, *Il comportamento termico dei solai in laterizio*, Costruire in Laterizio, Faenza, RA, n. 24/1991, p. 506).

a quella che competerebbe allo spazio compreso tra due lastre piane, parallele ed indefinite poste ad una distanza pari allo spessore della cavità (la norma indica la procedura per il calcolo di λ_c), ipotizzando che gli scambi di calore siano dovuti all'effetto combinato di conduzione, convezione e radiazione.^[3] Il vantaggio derivante dall'applicazione del metodo agli elementi finiti sta nel fatto di poter studiare qualsiasi struttura attribuendo ad ogni elemento costituente le proprie caratteristiche termofisiche, ottenendo così un valore equivalente combinabile con altri elementi (malta, intonaco, ecc.) più omogenei e con proprietà termiche ben precise: una volta eseguito il calcolo su un certo elemento, si possono facilmente determinare le proprietà termiche di tutte le strutture con esso costituite.

Per quanto riguarda gli elementi forati in laterizio, il cui valore della conducibilità termica λ è indispensabile per i calcoli, la UNI 10351 indica che la conducibilità non è né definibile, né misurabile direttamente, poiché dipende da tutti quei parametri geometrici di cui si è accennato in precedenza e che solo un'analisi agli elementi finiti può permettere di tenere in debito conto. Al proposito, quindi, fornisce un valore di "conducibilità indicativa di riferimento" λ_m riferita all'elemento di laterizio (includendo nel suo volume fori e porosità), sottolineando che le indicazioni riportate sono di prima approssimazione mentre dati più rigorosi possono essere valutati conoscendo le caratteristiche precise del corpo ceramico e la geometria del prodotto in esame. Data la grande varietà di blocchi per solaio reperibili sul mercato, con differenze sia geometriche che di materiale costituente, è quindi necessario determinare il valore di conducibilità dell'impasto cotto con una prova di laboratorio, che viene eseguita su un campione avente le caratteristiche di peso e di composizione dell'argilla proprie della produzione di laterizi effettuata in quel determinato stabilimento. Questa misura di laboratorio, definita dalla UNI 7745/77, consente di ricavare un valore di conducibilità relativo ad un materiale omogeneo (l'impasto cotto del laterizio) necessario per eseguire il calcolo agli elementi finiti previsto dalla UNI 10355: al valore così ottenuto verranno poi applicate tutte le maggiorazioni previste per tenere conto delle condizioni di umidità presenti nella struttura in fase di esercizio. A titolo di esempio, si riportano nel seguito i risultati del calcolo della trasmittanza di un solaio in laterocemento avente la struttura indicata in figura 5.^[3]

Per il calcolo è stata assunta una differenza di temperatura fra esterno ed interno di 20 K, coefficienti liminari interno ed esterno pari a $9 \text{ W/m}^2\text{C}$, ed il valore della conduttività equivalente della cavità è stato maggiorato del 15% per tener conto delle fessurazioni e delle porosità del materiale costituente gli elementi (tabb.1 e 2).

Rappresentazione dell'elemento	Caratteristiche elemento			Rappresentazione della struttura	Caratteristiche struttura		
	Massa vol. (kg/m ³) (*)	Foratura (%)	Tipologia		Spessore (mm)	Resist. term. m ² K/W	Massa di superf. (kg/m ²)
	1800	72	Pi		180	0,30	171
	1800	72	Ai		220	0,33	267
	1800	72	Pi		220	0,23	202
	1800	72	Ai		260	0,35	298
	1800	76	Pi		260	0,39	219
	1800	76	Ai		300	0,41	315
	1800	73	Po		180	0,30	181
	1800	73	Ao		220	0,32	277
	1800	74	Po		220	0,33	212
	1800	74	Ao		260	0,35	308
	1800	76	Po		260	0,35	237
	1800	76	Ao		300	0,37	333

Legenda: Po - collaboranti in opera; Pi - collaboranti interposti; Ao - alleggerimento in opera; Ai - alleggerimento interposti
(*) materiale costituente l'elemento

3. Resistenze termiche unitarie dei più diffusi tipi di solaio in laterocemento^[1].

Il comportamento termico degli elementi in laterizio

Analizzando prove di conducibilità su impasti cotti di diverso peso, si osserva una diretta correlazione esistente tra il valore di conducibilità ed il peso dell'impasto: al crescere del peso dell'impasto aumenta il valore di conducibilità (e quindi decresce la prestazione termoisolante del materiale).

Il grafico di figura 6 riporta una curva di interpolazione di una serie di valori di conducibilità, misurati con prove di laboratorio su piastra con anello di guardia secondo la UNI 7745/77, di impasti di laterizio di pesi diversi e di diversa provenienza: esso evidenzia l'indiscutibile proporzionalità esistente tra 'peso specifico' del materiale e conducibilità dello stesso.

Infine, la UNI 10351 prescrive che per accertare le caratteristiche di un prodotto occorre disporre di documentazione che attesti che i valori utilizzati siano riferibili ad almeno il

90% della produzione di quel prodotto. Per verificare la corrispondenza di un blocco di laterizio alle caratteristiche certificate per l'impasto è sufficiente 'pesare' il prodotto: si tratta di un controllo semplice che chiunque può fare e che non richiede sofisticate attrezzature. Si può dunque affermare che, per tutti i blocchi costituiti da un impasto con le stesse caratteristiche (peso specifico, porosità, ecc.), il dato di laboratorio certificato è sicuramente significativo per quel tipo di produzione all'interno di quell'azienda, mentre un'azienda diversa non potrà ritenere significativo per la sua produzione un valore di conducibilità certificato da altri. Il calcolo della trasmittanza di una struttura in laterizio con il metodo agli elementi finiti secondo la UNI 10355 è previsto nel listino prove di molti laboratori ed è attuato dagli stessi con la determinazione sperimentale della conducibilità dell'impasto cotto. Per ciò che riguarda la geometria e la disposizione dei fori, prescindendo dagli altri fattori influenti, si osserva che la conducibilità equivalente dei fori dipende essenzialmente dallo spessore medio del foro ed in maniera marginale dalla sua lunghezza, e le migliori prestazioni si ottengono sfalsando i fori in direzione ortogonale al flusso termico: l'influenza dello sfalsamento può essere tanto maggiore quanto più elevato è il numero di file di fori (nel senso della trasmissione del calore) che si realizzano nell'elemento di laterizio a parità di spessore.

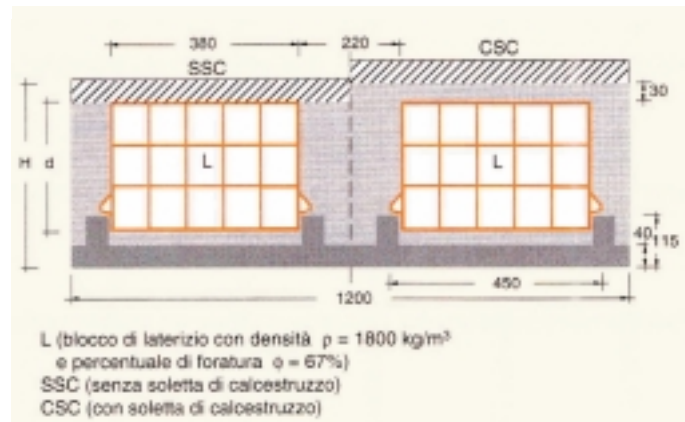
Comparazione fra diverse tipologie di solai in laterocemento Pur tenendo presente che, come già affermato, nel nostro Paese si possono identificare una grande varietà di elementi per solai, e ovviamente di tipologie di solai laterocementizi, si ritiene interessante analizzare alcune considerazioni emerse in seguito ad una ricerca comparativa fra solai diversi.^[4]

Nella ricerca in questione sono stati analizzati solai gettati in opera, solai composti da travetti prefabbricati a traliccio o precompressi, singoli o doppi, con interposti blocchi di alleggerimento in laterizio (fig. 7), solai con blocchi collaboranti senza soletta di calcestruzzo superiore e solai a lastra. Di questi solai è stata calcolata la resistenza termica, ed in base ai risultati ottenuti è stato calcolato un valore detto "conducibilità termica equivalente" λ_e , dato dal rapporto tra la resistenza termica della struttura ed il suo spessore s : λ_e rappresenta così la conducibilità di un materiale omogeneo tale che uno strato di spessore s di esso conduce lo stesso flusso di calore del solaio preso in considerazione.

In tutti i casi è stato considerato un laterizio di densità pari a 1750 kg/m^3 ed un calcestruzzo armato di densità 2400 kg/m^3 , entrambi con una conducibilità desunta dalla norma UNI-CTI 7357.

Per analizzare i diversi comportamenti termici sono stati poi introdotti alcuni parametri dimensionali:

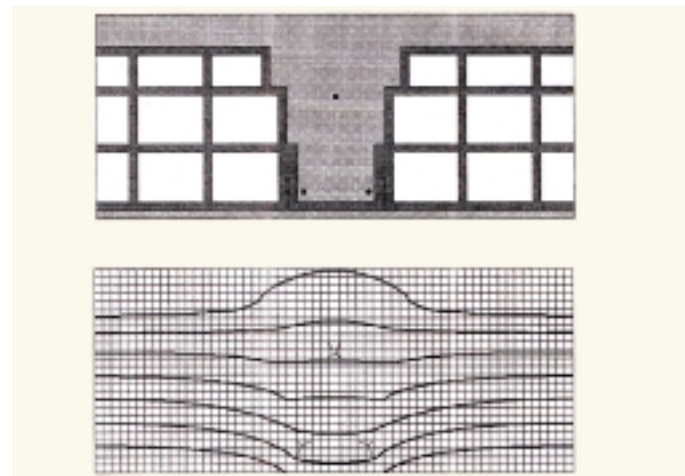
- ζ , dato dal rapporto fra conducibilità equivalente e conducibilità del laterizio pieno, che rappresenta il comportamento



H (cm)	d (40,5x25) (cm)	SSC	CSC	M (kg/m ²)	R ↑ (m ² ·K/W)	R ↓ (m ² ·K/W)
24	12	x		355	0,28	-
24	12	x		355	-	0,30
27	12		x	427	0,29	-
27	12		x	427	-	0,31
28,5	16,5	x		409	0,33	-
28,5	16,5	x		409	-	0,36
31,5	16,5		x	481	0,35	-
31,5	16,5		x	481	-	0,37
32	20	x		446	0,36	-
32	20	x		446	-	0,38
35	20		x	518	0,37	-
35	20		x	518	-	0,40
37	25	x		505	0,41	-
37	25	x		505	-	0,44
40	25		x	577	0,42	-
40	25		x	577	-	0,45

R ↑ = flusso di calore verso l'alto
 R ↓ = flusso di calore verso il basso

4. Resistenze termiche unitarie di solai a lastra con alleggerimento in blocchi di laterizio ^[1].



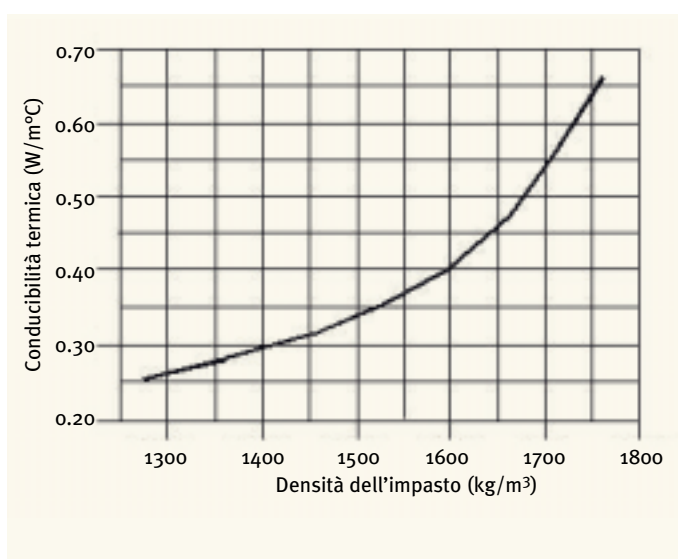
5. Struttura del solaio analizzato ^[3].

1 Caratteristiche termofisiche dei materiali [3]

Materiale	ρ [kg/m ³]	λ [W/m°C]	Cs [J/kg°C]
Laterizio	1600	0,50	840
Armatura	7500	50,00	1990
Calcestruzzo	2400	1,91	880
Fondello	1600	0,50	840
Intonaco	1800	0,80	910

2 Risultati dei calcoli [3]

λ_{eq} del solaio	0,69 [W/m°C]
Conduttanza del solaio	2,76 [W/m ² °C]
Trasmittanza	1,71 [W/m ² °C]



6. Andamento della conducibilità dell'impasto cotto riscontrato con prove sperimentali su impasti di diverso peso e diversa provenienza (fonte: ANDIL, *I solai in laterizio*, CD ROM).

del solaio rispetto ad una piastra fittizia di laterizio del medesimo spessore. Il valore 1 indica che il comportamento è equivalente, mentre un valore minore indica un comportamento migliore e viceversa;

- α , rapporto tra sezione totale delle cavità d'aria e sezione totale del blocco, ovvero l'alleggerimento del blocco;
- β , rapporto tra sezione totale del blocco e sezione totale del solaio, ovvero alleggerimento complessivo del solaio, valore che cresce al crescere delle dimensioni del blocco e diminuisce all'aumentare del calcestruzzo;
- ν , rapporto tra spessore della soletta sovrastante i blocchi e larghezza della nervatura in calcestruzzo. Questo parametro indica quanto la continuità fra nervatura e soletta può facilitare la formazione di un ponte termico;
- δ , rapporto tra dimensione media della cavità nella direzione del flusso termico e altezza del blocco di laterizio, indicatore dello spessore medio delle cavità d'aria del blocco stesso.

Dai risultati delle prove è emerso che l'alleggerimento (α) dei blocchi di laterizio non è determinante da solo nella prestazione complessiva del solaio, contrariamente a quanto avviene nelle murature, dove però il blocco costituisce certamente il componente principale della struttura.

Sembra invece essere determinante l'alleggerimento complessivo del solaio (β), al cui aumento corrisponde una significativa riduzione di ζ ; questo è probabilmente dovuto al fatto che un alleggerimento complessivo comporta una riduzione della quota di calcestruzzo nella sezione, cioè proprio del materiale a più elevata conducibilità termica.

Per quanto riguarda il parametro relativo ai ponti termici, non sono state riscontrate grandi variazioni, cosicché sembra verosimile dedurre che i vari tipi di solaio siano molto simili fra loro. All'aumentare del parametro δ corrisponde un aumento di ζ che, sebbene di debole intensità, porta a concludere che le cavità abbiano una più bassa conducibilità equivalente quanto più sono sottili. Sostanzialmente emerge quindi che la morfologia del blocco di laterizio, come unico parametro in gioco, non riesce a influenzare in maniera determinante il comportamento di un solaio, mentre la presenza di calcestruzzo ha un peso equivalente a quello dei blocchi stessi. Di conseguenza, fermo restando che un comportamento migliore dei blocchi giova comunque al risultato complessivo del solaio, è sembrato opportuno indagare quale altro tipo di intervento potrebbe conseguire un risultato ottimale dal punto di vista della prestazione termica complessiva.

Fra gli interventi possibili, sembrano significativi quelli che vanno ad agire sui laterizi attraverso modifiche delle cavità o dell'impasto, oppure un aumento dell'interasse fra i travetti. Le cavità potrebbero essere studiate in una forma tale da minimizzare i flussi termici dovuti ad irraggiamento, ma al modesto miglioramento ottenibile fanno contro la necessità di verificare la resistenza statica nonché la compatibilità con i sistemi produttivi. Altrimenti le cavità potrebbero essere trattate con sostanze a bassa emissività, soluzione che però comporta certamente un innalzamento dei costi e notevoli difficoltà produttive. Queste due soluzioni, comunque, richiederebbero poi l'uso di software di calcolo specifici che tengano conto delle complicazioni introdotte. Infine si potrebbe pensare di riempire le cavità con materiale isolante leggero.

Aumentando l'altezza dei blocchi il comportamento migliora certamente, ma questo comporta anche un aumento dell'altezza del solaio e del suo peso, mentre l'aumento dell'interasse, che potrebbe portare a risultati ottimali, si scontra con i problemi legati alla resistenza strutturale del blocco ed alla presenza del ponte termico.

Anche l'impiego di laterizio alleggerito in pasta, a bassa conducibilità, comporta una verifica della resistenza statica; però questa soluzione, una volta accertata la compatibilità con i sistemi produttivi, sembra essere quella più facilmente praticabile e, complessivamente, la migliore.

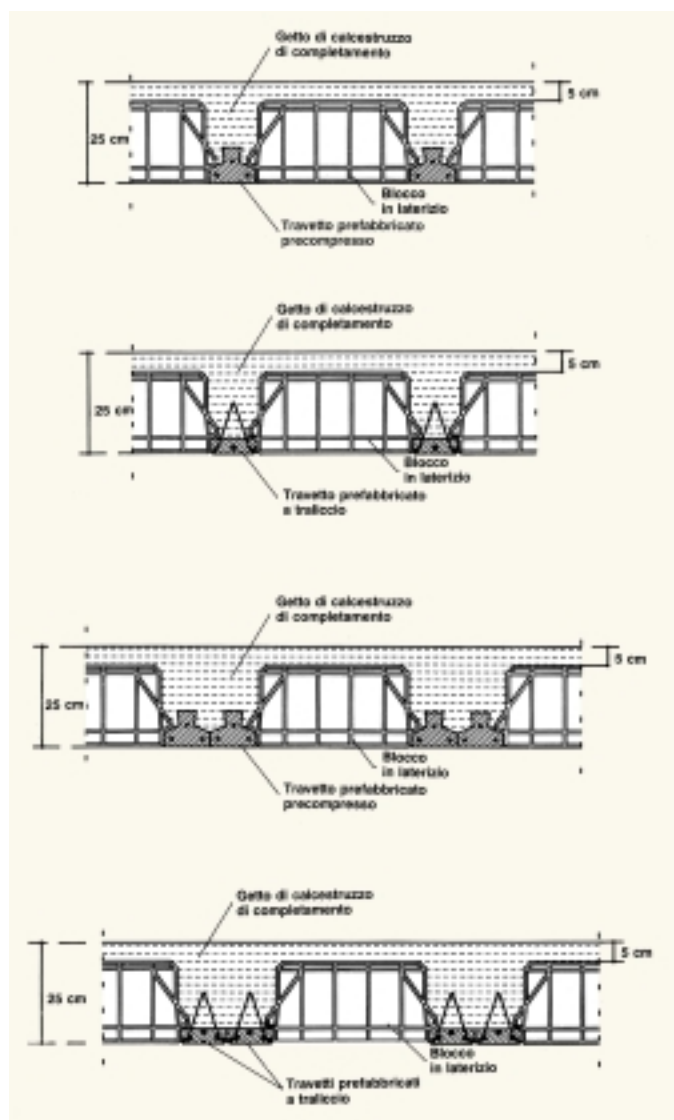
Conclusioni Per quanto riguarda le prestazioni termiche dei solai laterocementizi, esistono differenze sostanziali fra tipologie diverse, ma all'interno di ciascuna tipologia le variazioni sono di entità così modesta che diventa difficile una definizione precisa del ruolo di ciascun parametro influente.

La produzione nazionale di blocchi di laterizio per solai sembra essere abbastanza omogenea dal punto di vista prestazionale, ed il livello generalmente raggiunto non appare essere al momento suscettibile di significativi miglioramenti: sostanzialmente si può pensare che la produzione attuale sia stata determinata da una serie di evoluzioni successive che hanno adattato le prestazioni termiche ad altre caratteristiche richieste che si sono definite (o mutate) nel corso del tempo.

Sostanzialmente sembra più opportuno seguire le indicazioni relative ad un miglioramento complessivo del prodotto solaio in laterizio, con modifiche che possono portare a fornire adeguate risposte anche nei confronti di altre richieste (termoigrometriche, acustiche, di resistenza al fuoco, ecc.). In questa direzione sembrano dirigersi, ad esempio, gli studi di messa a punto di tecnologie miste, quali quella dei solai in laterizio e legno.

I settori di innovazione più significativi sui prodotti in laterizio per solai sembrano attualmente essere quelli relativi ai problemi della resistenza al fuoco e della trasmissione acustica. In particolare da quest'ultimo campo di prestazioni deriva la necessità di ridurre le cavità dei blocchi, nonché di impiegare impasti a più basso modulo di elasticità: questa soluzione, compatibile con l'esigenza di assicurare comunque una buona resistenza statica, rientra di fatto anche fra le strade che è possibile percorrere ai fini del miglioramento delle prestazioni termiche e del comportamento in caso di incendio.

Infatti, la corrispondenza fra prestazioni termiche e resistenza al fuoco fa sì che le soluzioni che sembrano più idonee nei confronti di quest'ultima, quali il disegno di blocchi a pasta alleggerita con piccole cavità, siano altrettanto ottimizzanti nei confronti delle prime. Ai sensi del Decreto del Ministero dell'Industria, pubblicato sulla G.U. del 5 maggio 1998 n. 102, le prestazioni termoisolanti dei blocchi da solaio che presentano una qualunque soluzione finalizzata al miglioramento delle caratteristiche energetiche devono essere certificate mediante un calcolo eseguito secondo la già citata norma UNI 10355. Il calcolo può essere eseguito da un professionista iscritto all'albo, mentre la prova di conducibilità sul "cotto" deve essere condotta da un laboratorio riconosciuto: la certificazione dovrà essere ovviamente rinnovata ogniqualvolta il produttore apporti una variazione all'impasto o alla geometria del prodotto. Nella certificazione inoltre, ai sensi dell'art. 3 del medesimo Decreto, il produttore deve anche dichiarare la corrispondenza della materia prima a quella certificata. Infine, all'articolo 4, il Decreto stabilisce che un blocco a prestazioni termiche migliorate, per essere ben identificabile e rispondere alle richieste dal Decreto stesso, dovrebbe essere marchiato con il nome del produttore e dello stabilimento, data ed even-



7. Solai a blocchi di laterizio e travetti prefabbricati^[5].

tuale turno di produzione, percentuale di foratura, massa volumica del "cotto" e resistenza termica; tutte queste indicazioni, se dimensioni o forma del blocco non consentono di marciare ogni elemento, devono essere riportate sulla confezione di imballaggio.^[7] ¶

Bibliografia

1. V. Bacco, L. Ciancabilla, *Il manuale dei solai in laterizio*, Edizione Laterconsult, Roma, 1994.
2. G. Righetti, L. Bari, *Calcolo delle prestazioni termiche di murature e solai*, Costruire in Laterizio, n. 73/2000, pp. 68-75.
3. G. Righetti, *Comportamento termoigrometrico delle murature e dei solai: la nuova normativa*, Costruire in Laterizio, n. 45/1995, pp. 223-231.
4. P. Bondi, P. Stefanizzi, *Resistenza termica di murature e solai*, Costruire in Laterizio, n. 20/1991, pp. 135-143.
5. P. Bondi, P. Stefanizzi, *Il comportamento termico dei solai in laterizio*, Costruire in Laterizio, n. 24/1991, pp. 504-510.
6. G. Raffellini, G. Zanarini, *Ricerca, sperimentazione ed innovazioni di prodotto*, Costruire in Laterizio, n. 29/92, pp. 427-433.
7. G. Zanarini, *Certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti*, Costruire in Laterizio, n. 69/1999, pp. 64-65.
8. S. Signorini, *Solai in laterizio e sottofondo in argilla espansa*, Costruire in Laterizio, n. 50-51/1996, pp. 151-153.