

**Risultati di alcune
ricerche della Sezione
solai dell'Andil,
in collaborazione
con Università
e Istituti di ricerca
nazionali,
per la produzione
di nuove tipologie
di solai**

Ricerca, sperimentazione ed innovazioni di prodotto

Premessa

In questi ultimi anni in Italia la ricerca e la sperimentazione nel settore dei solai è stata condotta con notevole impegno, soprattutto grazie ad iniziative intraprese dall'ANDIL Assolaterizi.

Indubbiamente una migliore conoscenza dei materiali di base, dei prodotti e delle loro prestazioni può arrecare significativi benefici sia ai produttori che agli utilizzatori: infatti, ai primi può consentire di migliorare la loro produzione e di centrare le esigenze più attuali del mercato, mentre può orientare coscientemente i secondi a scegliere i prodotti più calibrati in funzione delle caratteristiche d'impiego previste in sede di progetto.

In questa nota verranno esposti i più rilevanti risultati emersi dalle campagne di ricerca e sperimentazione, svolte nell'ultimo biennio.

Prove sulla dilatazione termica delle argille

Nell'ambito di uno studio sul comportamento termogrometrico dei laterizi si sono effettuate presso il Centro Ceramico di Bologna, prove di dilatazione termica su campioni prelevati da blocchi per solaio e prodotti in stabilimenti ubicati tutto il territorio nazionale.

Va in primo luogo precisato che la determinazione del coefficiente di dilatazione termica lineare è stabilita nel D.M. 27/7/1985 del Ministero dei lavori Pubblici, e nel D.M. 14/2/1992 che lo sostituisce, che specifica:

- all'Allegato 7, punto 4, che i campioni di prova devono avere "dimensioni minime di mm 30x120 spessore";

- all'Allegato 7, punto 6, che "il coefficiente di dilatazione termica lineare verrà determinato per un salto termico tra 70°C e 20°C in ambiente con UR 25% a 70°C;

- al punto 7.1.3.2, che "il coefficiente di dilatazione termica lineare del laterizio dovrà essere maggiore di $6 \cdot 10^{-6}$ mm/mm °C.

Grazie alla registrazione della curva dilatometrica (figura 1) è stato possibile evidenziare in alcuni campioni una brusca variazione nella pendenza della curva. La natura e le cause di tale fenomeno, che peraltro hanno una influenza non trascurabile sul valore del coefficiente medio di dilatazione termica lineare, sono attualmente allo studio: tale comportamento non è infatti menzionato in letteratura, ma merita comunque di essere approfondito in quanto avviene a temperature non troppo diverse da quelle riscontrabili usualmente nelle condizioni di esercizio dei blocchi per solaio.

A tutt'oggi possono essere formulate alcune considerazioni sul metodo di prova che, così come specificato dal D.M. 14/02/1992, lascia adito a qualche dubbio in merito all'at-

tendibilità delle indicazioni che si possono ottenere. Si dovrebbero pertanto considerare i seguenti aspetti:

- *prelievo dei campioni di prova*: pare necessario indicarne più chiaramente le modalità, onde tenere in dovuto conto l'influenza dei molteplici parametri di processo (quali ad esempio direzione di estrusione, effetti di bordo ecc.) che possono influenzare, a parità di ogni altra condizione, le caratteristiche microstrutturali del pezzo finito e quindi anche il suo comportamento alle sollecitazioni termiche;

- *valutazione dei risultati*: sarebbe utile stabilire un criterio di tipo statistico per definire il valore del coefficiente di dilatazione, onde tener conto dell'omogeneità solo statistica di composizione chimico-fisica del laterizio.

È evidente che questi aspetti necessitano di un ulteriore approfondimento della sperimentazione, che deve tenere conto di una molteplicità di fattori: già il tipo di materia prima impiegata, infatti, riveste certamente un'importanza non trascurabile.

Dilatazione all'umidità

Anche questa indagine assume come metodo di prova quanto fissato dal D.M. 14/2/1992. In esso si stabilisce che la prova deve essere effettuata mediante immersione dei campioni in acqua a 20°C per 90 giorni, e che l'inizio della prova deve avvenire di regola entro 30 giorni dall'ultimazione del processo produttivo del laterizio.

In merito alla preparazione dei campioni, il decreto riporta solo che essi devono essere ricavati dai blocchi mediante opportuno taglio e che devono avere dimensioni minime di mm 30x120 spessore.

Sono stati esaminati, sempre presso il Centro Ceramico di Bologna, campioni provenienti da 36 produttori diversi, sui quali non è stato effettuato alcun trattamento di essiccamento o di ricottura, in quanto non previsto dal citato decreto.

I risultati della prima serie di prove hanno dato valori generalmente elevati se paragonati con il limite massimo fissato dal decreto (400 μ /m); solo in pochi casi i valori trovati sono risultati inferiori al citato valore di soglia. Ciò ha inizialmente indotto qualche perplessità, anche perchè analoghe prove, effettuate in precedenza da altri laboratori su campioni provenienti dalle stesse aziende, avevano fornito valori sensibilmente inferiori e sempre rientranti nel limite.

Ripercorrendo poi le fasi esecutive di questa serie di verifiche si è avuto un primo importante risultato; poichè i campioni tagliati ad umido danno valori di espansione all'umidità sensibilmente inferiori rispetto agli analoghi ottenuti per taglio a secco, la normativa non

può prescindere dalle modalità di prelievo dei provini. Il laterizio "kilnfresh" è risultato infatti molto sensibile all'umidità, e subisce un'espansione già a seguito del semplice taglio ad umido. Inoltre è stato accertato che la maggior parte dell'espansione avviene dopo i primi 30 giorni; nei periodi successivi l'incremento di espansione è decisamente inferiore.

Una seconda serie di prove è stata effettuata sugli stessi campioni (lasciati all'aria nel laboratorio) dopo sette mesi dall'effettuazione della prima serie di misure. I risultati ottenuti sono stati decisamente inferiori, e quindi più soddisfacenti, di quelli della prima serie di misure; inoltre, tutti i valori trovati rientrano nel limite fissato dal decreto, mentre esiste un discreto accordo tra i valori rilevati dal Centro Ceramico e quelli trovati da altri laboratori. Le variazioni legate alle modalità di preparazione dei provini si sono ampiamente attenuate.

Verificata l'attendibilità della metodica di prova, si può affermare che i valori ottenuti trovano tutta giustificazione, sulla base anche di studi e di ricerche svolte sull'argomento e riportate nella letteratura internazionale. Sono emersi anche in questo caso alcuni punti che necessitano di approfondimento.

In primo luogo, la valutazione della reversibilità del fenomeno: per questo la ricerca è proseguita su provini ricotti a 700°C (secondo quanto riportato in letteratura) onde riportare il materiale nelle condizioni di "kilnfresh" e verificare a posteriori i valori ottenuti nella prima serie di misure; tale operazione è già in corso.

Poi la messa a punto di una metodica di prova che consenta di ottenere risultati sufficientemente attendibili a tempi brevi: si è già detto delle lacune che presenta la metodica riportata dal D.M., che presenta limiti di indeterminazione nello svolgimento della prova assieme a tempi di esecuzione eccessivamente lunghi.

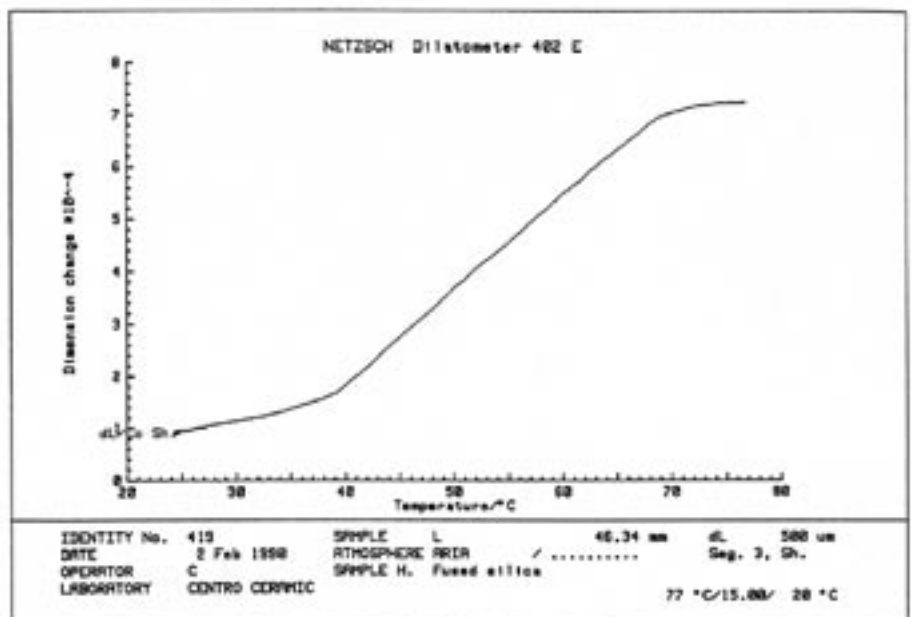
Infine, un'indagine sistematica che consenta di correlare preventivamente le caratteristiche dei laterizi con le materie prime nazionali impiegate per produrli.

Quest'ultimo punto ha evidenziato una grande complessità operativa per la numerosità tipologica delle materie prime.

Studio delle materie prime

Sono stati analizzati 23 campioni di materie prime caratterizzate mediante analisi granulometrica e mineralogica per diffrazione a raggi X.

I risultati rivelano che vi è un campo molto ampio di variabilità. L'analisi granulometrica ha messo in evidenza che la maggior parte dei campioni rientrano nel campo delle argille limose, classe caratteristica delle materie prime per l'industria dei laterizi, con dimensioni particellari comprese tra 5×10^{-3} e 5×10^{-2} mm.



I risultati ottenuti dall'analisi diffrattometrica hanno evidenziato invece una certa variabilità nella composizione che non ha permesso raggruppamenti significativi, anche perchè non sono al momento disponibili dati geologici di supporto e dati chimici per un'analisi semiquantitativa più approfondita.

Le analisi effettuate hanno tuttavia rafforzato la convinzione che sia opportuno ricercare una correlazione fra composizione chimica e granulometria delle terre impiegate e caratteristiche di comportamento termico e igrometrico del prodotto cotto.

Tali correlazioni, destinate ad individuare le caratteristiche ottimali delle "miscele" impiegate per la produzione dei blocchi da solaio, saranno propedeutiche alla ricerca sperimentale per la determinazione dell'energia di frattura del materiale laterizio.

Energia di frattura

Scopo della sperimentazione

Negli ultimi anni, oltre alle indagini sui classici parametri fisico-meccanici, l'interesse di numerosi ricercatori si è incentrato sulle proprietà del laterizio visto come facente parte dell'organismo strutturale (collaborazione con il calcestruzzo ai fini della deformabilità della struttura, comportamento a stato limite ultimo o di esercizio del solaio misto, comportamento agli effetti di deformazioni impresse ecc.).

Contemporaneamente, l'applicazione della disciplina della meccanica della frattura a materiali quali il calcestruzzo ed il laterizio (mattoni inseriti in costruzioni di interesse storico-monumentale) ha fornito nuovi riferimenti per l'interpretazione di fenomeni che tradizionalmente trovavano giustificazione

solo per via empirica. Sperimentazioni condotte su mattoni hanno ad esempio evidenziato come il comportamento a rottura del laterizio sia dipendente dalla scala dimensionale e come, spesso, si manifestino rotture di tipo istantaneo, per stati di sollecitazione che inducono tensioni contenute ben al di sotto dei limiti di sicurezza definiti dalla teoria classica.

È apparso quindi interessante approfondire lo studio dei parametri non legati ai concetti della meccanica classica e precisamente quelli che riguardano le proprietà di tenacità alla frattura del laterizio. In altri termini, come risulta dai primi risultati di ricerche già compiute presso il Politecnico di Torino, lo studio dei fenomeni di dissipazione dell'energia che avvengono in un componente strutturale nel processo di carico fino a rottura fornisce indicazioni più utili del classico approccio dell'analisi tensionale, tenuto anche conto che i valori dei parametri tradizionalmente utilizzati (modulo elastico, resistenza a compressione e a flessione), sono già abbastanza noti. Pertanto è sembrato opportuno sviluppare un'indagine sperimentale che consenta, in sostanza, di caratterizzare alcuni aspetti del comportamento del blocco laterizio di produzione nazionale, per inserirli in ambito normativo di qualificazione e controllo del prodotto.

Oggetto della sperimentazione

La caratterizzazione del materiale di base è proposta con riferimento alla determinazione della tenacità alla frattura, ovvero alla determinazione dell'energia assorbita dal provino, avente una fessura preformata, per giungere a completa rottura.



Le prove sono eseguite su listelli estratti da blocchi di produzione corrente, in modo da comprendere, il più possibile, le varie miscele di argilla impiegate sul territorio nazionale e, a parità di caratteristiche della miscela, le più significative morfologie e tipologie di blocco prodotte nello stabilimento.

Le prove, eseguite con la metodologia del "three point bending", già consolidata per la determinazione dell'energia di frattura su provini di calcestruzzo, sono finalizzate alla determinazione della curva carico-freccia fino a rottura con particolare riferimento alla rilevazione del ramo discendente della curva, oltre il punto di carico massimo. Tale ramo normalmente presenta pendenza negativa (freccie che aumentano con l'aumentare dell'apertura della fessura) ma, date le caratteristiche del materiale laterizio, sono possibili pendenze positive o snap-back (freccia che diminuisce con l'aumentare dell'apertura della fessura). D'altra parte nelle argille con elevata presenza di materiali granulari è anche prevedibile un comportamento più duttile, con energie di frattura maggiori di quelle riscontrate per argille caratterizzate da composizioni granulometriche con elevata presenza di parti fini.

L'indagine sarà infine estesa, a parità di ogni altra caratteristica, a differenti profondità iniziali dell'intaglio, per rilevare la legge di dipendenza del carico massimo sperimentale rispetto a quello derivante dall'applicazione delle relazioni fondamentali della meccanica della frattura elastica lineare, ottenendo così informazioni sull'applicabilità di procedimenti numerici ed evitando di ricorrere alla sperimentazione che richiede, naturalmente, tempi più lunghi.

Dalle prime prove effettuate, il materiale appare, in generale, sensibile alla frattura.

Si sono già rilevati fenomeni di snap-back (pendenza positiva in una parte del ramo discendente del diagramma carico-freccia); con propagazione della fessura di tipo improvviso.

Inoltre i valori dell'energia di frattura per provini aventi la stessa provenienza sono confrontabili mentre variano considerevolmente per materiali di diversa provenienza: questo indica che la miscela di base, le modalità di cottura ecc. influiscono su tale parametro.

La resistenza a trazione (parametro di valutazione e confronto tradizionalmente assunto come riferimento) non appare legata ai valori di energia di frattura. Questa discordanza ha rivelato che i parametri di resistenza tradizionali non sempre risultano indicatori esaustivi del comportamento sono carico del materiale.

Ricerca sul comportamento al fuoco

Come è noto, esistono due fondamentali caratteristiche di comportamento al fuoco:

- *la reazione al fuoco*, intesa come grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto;

- *la resistenza al fuoco (REI)*, cioè l'attitudine di un elemento da costruzione, componente o struttura, a conservare, secondo prove con un programma termico prestabilito e per un tempo determinato, la Stabilità (R), la Tenuta (E), l'Isolamento Termico (I).

Reazione al fuoco

Il Decreto ministeriale 14 gennaio 1985 attribuisce classe di reazione 0, e quindi es-

nera dalla prova di combustibilità, i materiali composti da ossidi, solfati, carbonati, silice e silicati.

Poichè i laterizi sono composti da argilla, che appunto ha tali caratteristiche, non è richiesta la certificazione di incombustibilità.

Le alte temperature raggiunte durante la cottura, ben raramente inferiori a 900 °C, portano inoltre ad una completa combustione di eventuali materiali organici aggiunti (segatura, polistirolo, sansa di olive, residui di cartiera), che non sono quindi componenti del prodotto finito e, ovviamente, non possono partecipare, una volta in opera, ad un eventuale incendio. Pur essendo la cosa ovvia, l'ANDIL Assolaterizi ha posto il quesito al Ministero dell'Interno in data 30 aprile 1986.

Il Ministero, con risposta n. 2749 pervenuta in data 15 maggio 1986, ha ribadito l'attribuzione della classe 0 ai materiali che, per composizione, rientrino tra quelli elencati nel decreto; questo a conferma che il laterizio, a qualunque uso esso sia destinato, non partecipa all'incendio al quale dovesse essere sottoposto e non contribuisce alla propagazione dell'incendio stesso.

Resistenza al fuoco

Per quanto ancora oggi la circolare 91 del 1961 sia il riferimento principale per la valutazione della resistenza al fuoco delle strutture in laterizio, l'ANDIL ha ritenuto necessario, per le modifiche tecnologiche e tipologiche verificatesi in questi anni nel campo dei laterizi in genere e per solaio in particolare, avviare una ricerca per determinare in modo ufficiale e in collaborazione con il Centro Studi ed Esperienze dei VV.FF. di Roma-Capannelle le caratteristiche di resistenza al fuoco delle tipologie più ricorrenti. A questa analisi sperimentale seguirà un'analisi numerica per mettere a punta un metodo di calcolo della resistenza al fuoco analoga a quelli recentemente elaborati dall'UNI per le Strutture in acciaio, legno e cemento armato.

Altro obiettivo di notevole rilevanza è che i valori così ottenuti possono essere attribuiti, su scala nazionale, con le modalità e le specifiche che il Ministero riterrà più opportune e senza l'obbligo di effettuare nuove prove di laboratorio, a strutture identiche o con caratteristiche dimensionali tali da garantire prestazioni sicuramente superiori (maggiore spessore della struttura, minore percentuale di foratura degli elementi in laterizio ecc.) e attestate dal produttore del componente laterizio o dall'impresa esecutrice delle strutture.

Uno dei risultati della ricerca potrebbe poi essere l'emanazione di nuove tabelle sostitutive delle attuali riportate nella Circolare 91/1961.

Il programma di ricerca non è stato ancora ultimato, ma si intravedono già valori abbastanza variabili e molto condizionati dalle caratteristiche dell'intonaco posto a protezione dell'intradosso e dallo spessore e dalle caratteristiche della soletta superiore.

Per ora la ricerca conferma che i solai in laterizio possono coprire tutta la gamma delle classi di resistenza al fuoco previste, da REI 30 a REI 180, in funzione delle scelte progettuali e delle cure esecutive.

La prestazione acustica

Si è voluto approfondire la conoscenza dell'influenza delle caratteristiche realizzative dei solai agli effetti del comportamento acustico, e quindi della possibilità che lo stesso ha di irradiare l'energia sonora ricevuta, sia per sollecitazione aerea, che di tipo impattivo.

Tali prove sono state condotte in opera (isolamento acustico e calpestio), e in laboratorio (potere fonoisolante).

La sperimentazione in opera è stata prevista su due fabbricati, facenti parte di un programma di sperimentazione di edilizia agevolata. Le rilevazioni sul primo fabbricato (figura 2) sono state ultimate nel mese di aprile 1992 e hanno messo a confronto solai realizzati con travetto a traliccio, travetto precompresso e pannelli, tutti di altezza $20 \div 4$, cm orditi sia su di una luce di 5,40 m che su di una luce di 3,70 m. Queste prove, i cui risultati sono stati elaborati presso l'Istituto di Fisica Tecnica della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, sono state finalizzate ad evidenziare l'influenza delle soluzioni strutturali e del senso di orditura degli elementi portanti agli effetti della risposta acustica.

Sono state fatte prove di carico per valutare il diverso comportamento elastico del solaio e avere così ulteriori parametri di relazione.

Le tipologie di solaio sono state provate anche presso il laboratorio di acustica dell'Università di Parma, al fine di determinare il potere fonoisolante R ed il comportamento degli stessi nell'analisi in frequenza.

A programma ultimato, si avrà un significativo confronto fra potere fonoisolante (in laboratorio) e isolamento acustico (in opera). L'obiettivo finale consiste:

- nella realizzazione di codici di pratica sotto forma di schede tecniche che illustrino le caratteristiche dei prodotti, le prestazioni attese, le modalità operative e di cantiere da seguire per una corretta posa in opera e per un uso adeguato;

- nella eventuale individuazione di nuove

tipologie di laterizio volte a rendere massimo l'isolamento acustico.

Le misure

di isolamento acustico e di calpestio

Le misure sono state quindi effettuate per cercare di approfondire le conoscenze su alcuni problemi che appaiono insoliti, quali l'influenza delle caratteristiche realizzative del solaio (dimensioni del solaio, spessore degli elementi in laterizio, tipologia dei travetti, rigidità del complesso) sulla capacità dello stesso di irradiare l'energia sonora ricevuta, sia per via aerea che per via solida.

Inoltre, si è cercato di individuare i limiti entro cui una struttura altamente asimmetrica, quale è un solaio in laterizio rifinito superiormente con una soletta, può essere considerata simmetrica, in riferimento all'isolamento acustico per via aerea, nei confronti della direzione di propagazione del suono (da sopra a sotto e viceversa).

I risultati delle misure non hanno consentito semplici generalizzazioni, tuttavia si possono trarre le seguenti conclusioni:

1) alle basse frequenze (100+200 Hz), la scelta di una tipologia di solaio anziché di un'altra dipende molto spesso dalla banda di terza d'ottava per la quale si desidera eventualmente avere il miglior isolamento possibile;

2) gli spettri medi degli isolamenti acustici offerti dai solai consentono di trarre in maniera più breve e comoda conclusioni che non si discostano sensibilmente da quelle ottenute con l'analisi degli spettri dipendenti dalla direzione di misura, anche se ovviamente la precisione "numerica" ed il dettaglio del comportamento acustico diminuiscono;

3) il solaio a pannelli dà buoni risultati, in generale, alle alte frequenze (1600+3150 Hz);

4) il solaio a pannelli con luce di 3,70 m, dà quasi sempre risultati migliori di quello con luce di 5,40 m, tranne che per alcune basse frequenze;

5) il solaio con travetti a traliccio a luce maggiore (5,40 m) è idoneo ad isolare le frequenze medio-alte (250 + 630 Hz, 1250 + 2500 Hz), mentre quello a luce minore (3,70 m) non dà risultati tali da renderlo preferibile rispetto alle altre tipologie;

6) il solaio a travetti in calcestruzzo precompresso risulta idoneo ad isolare le medie frequenze (400+120 Hz) nel caso di luce maggiore, mentre nel caso di luce minore la sua prestazione migliore va da circa 200 a circa 1600 Hz;

7) il solaio con travetti a traliccio avente luce maggiore dà un isolamento acustico in generale migliore del corrispettivo solaio a luce minore, ma non per l'intervallo 500+1000 Hz;

8) il solaio con travetti precomposti costruito con la luce minore è da preferirsi rispetto a quello con la luce più grande;

9) la reversibilità delle misure risulta senza dubbio migliore nel caso di solai con travetti a traliccio e con travetti precomposti, mentre l'indipendenza dalla direzione di misura presentata dai due solai a pannelli è circa la stessa (infatti gli scarti, per ogni banda di frequenza, sono inferiori a 1 dB).

In particolare, sempre a riguardo della reversibilità delle misure, i risultati migliori, mediamente su tutte le bande di frequenza considerate, si ottengono, nell'ordine, con la tipologia a traliccio, con quella a travetti precomposti e con quella a pannelli.

Fin dalla prima campagna di misure si è constatato che le misure di calpestio fornivano risultati alquanto anomali. La pendenza della curva, in effetti, anziché diminuire verso le alte frequenze, come normalmente accade e come è riportato nella norma ISO 717, aveva un andamento crescente. Se inizialmente tale fenomeno ha fatto pensare ad un cattivo funzionamento della strumentazione o ad errori nella esecuzione delle misure, dalle ultime misure effettuate, si è invece constatato che ciò non dipende sostanzialmente dalla trasmissione laterale ma proprio da un effetto di risonanza della struttura alle alte frequenze. I dati sono comunque ancora in corso di elaborazione e per valutare completamente il fenomeno si dovrà aspettare di effettuare le misure a edificio completato con tutti i tamponamenti, intonaci, pavimentazioni ed infissi.

Le misure del potere fonoisolante

Come detto in precedenza, la sperimentazione è stata condotta presso il laboratorio dell'Università di Parma.

I dati ottenuti hanno mostrato un comportamento molto simile a quello delle pareti monostrato, ma si può osservare una leggera riduzione del potere fonoisolante alla frequenza di 2500 Hz. Tale effetto deriva dalla maggiore rigidità flessionale di queste strutture rispetto alle pareti verticali, rigidità causata dall'armatura metallica dei travetti. Avviene così che, ad una certa frequenza, la lunghezza d'onda delle onde flessionali coincida con quella del suono nell'aria, e sia facilitato il trasferimento di energia fra i due sistemi di onde elastiche.

Fortunatamente i materiali sono dotati di uno smorzamento molto elevato, per cui le onde flessionali si estinguono dopo breve tratto, e la conseguente riduzione di potere fonoisolante è contenuta.

È anche interessante osservare come tipologie costruttive simili diano luogo a risultati non altrettanto simili, sebbene sia inevitabili-

le che le singole esecuzioni di un manufatto presentino una intrinseca non ripetibilità, che può spiegare almeno in parte le differenze riscontrate.

In ogni modo il valore assoluto del potere fonoisolante è sempre assai elevato per i solai in latero-cemento (vedasi Tabella 1), e sembrerebbe indicare la mancanza di qualsiasi problema relativamente all'isolamento fra piani sovrapposti, mentre nella pratica si verifica che spesso questi problemi esistono.

Ciò in parte è senz'altro dovuto alla presenza di cammini di fiancheggiamento, che sono rilevanti nel caso di edifici con pilastri in calcestruzzo.

La prestazione termica dei solai

Il lavoro di ricerca è stato organizzato dapprima con una raccolta sistematica dei tipi di blocchi da solai prodotti dagli Associati ANDIL, seguita da una valutazione del comportamento termico di ciascuna delle soluzioni identificate e da una loro sistematizzazione in vista di ricavare le linee di tendenza del comportamento termico al variare delle caratteristiche costitutive fondamentali dei solai stessi.

Da indagini ANDIL risulta che sono tre tipi di solaio in latero-cemento che da soli coprono l'85% circa della produzione nazionale: a travetti prefabbricati e blocchi, gettati in ope-

ra ed a lastre prefabbricate.

Risulta evidente, dai tipi citati, la forte disomogeneità geometrica e fisica della struttura solaio. Questo significa non poter considerare unidimensionale la trasmissione del flusso termico tra le superfici limite del solaio; tuttavia è possibile un'analisi bidimensionale in un piano perpendicolare alle forature dei blocchi in laterizio.

Il calcolo è reso complesso sia dalla disomogeneità della struttura sia dalla contemporanea presenza delle diverse modalità di trasporto del calore in corrispondenza delle cavità d'aria presenti nel blocco in laterizio. Infatti esse sono sede di scambio termico per convezione naturale nonché per irraggiamento diretto tra le superfici interne delle cavità.

La considerazione rigorosa delle equazioni di scambio porterebbe ad un problema non lineare praticamente intrattabile anche con metodi numerici approssimati.

Nel corso della ricerca, condotta presso l'Università di Bari, si è fatto ricorso allora ad una semplificazione consistente nel considerare la cavità riempita di un materiale omogeneo caratterizzato da una conducibilità termica "equivalente" tale da produrre un trasporto di calore nella cavità analogo a quello reale (in questo lavoro è stato seguito il metodo descritto al punto A.3 della proposta di norma CTI-1/36 "Resistenza termica di murature e solai").

Si è considerata solo la situazione di flusso termico verso l'alto che si realizza quando durante la stagione di riscaldamento invernale la temperatura dell'aria nell'ambiente interno all'edificio supera il valore della temperatura esterna.

In questo modo il problema da risolvere è la determinazione del campo di temperature in un solido disomogeneo in presenza di sola conduzione. I calcoli sono stati eseguiti con il metodo numerico agli elementi finiti discretizzando il dominio interessato alla conduzione con elementi triangolari lineari.

Il metodo di calcolo fornisce come risultato le temperature nei nodi di vertice degli elementi a partire dalle quali è immediato il calcolo della resistenza termica del solaio.

Dall'analisi dei calcoli effettuati si possono trarre le seguenti considerazioni:

- l'esame del comportamento termico di un campione di solai in latero-cemento rappresentativo della produzione complessiva italiana porta a concludere che la produzione attuale si presenta molto omogenea dal punto di vista prestazionale;

- esistono differenze tra tipologie diverse di solaio, ma all'interno di ciascuna tipologia la ristrettezza della variazione delle caratteristiche dimostra la presenza di una ottimizzazione delle sezioni dei blocchi raggiunta per suc-

Tabella I - Potere fonoisolante dei solai

Descrizione	Massa superficiale kg/cm ²	Rw dB
Solaio h = 21,5 cm, realizzato con travetti a traliccio e blocchi in laterizio tipo A, altezza 16 cm + 4 cm di soletta in cls + 1,5 cm di intonaco di intradosso. Interasse travetti 50 cm	270	49
Solaio h = 25,5 cm, realizzato con travetti a traliccio e blocchi in laterizio tipo A, altezza 20 cm + 4 cm di soletta in cls + 15 cm di intonaco di intradosso. Interasse travetti 50 cm	340	50
Solaio h = 21,5 cm, realizzato con travetti precompressi e blocchi in laterizio tipo A, altezza 16 cm + 4 cm di soletta in cls + 15 cm di intonaco di intradosso. Interasse travetti 50 cm	269	48,5
Solaio h = 25,5 cm, realizzato con travetti precompressi e blocchi in laterizio tipo A, altezza 20 cm + 4 cm di soletta in cls + 15 cm di intonaco di intradosso. Interasse travetti 50 cm	284	47,5
Solaio h = 22 cm, realizzato con travetti precompressi e blocchi in laterizio tipo B, altezza 16,5 cm + 4 cm di soletta in cls + 15 cm di intonaco di intradosso. Interasse travetti 50 cm	273	47,5
Solaio h = 25,5 cm, realizzato con travetti precompressi e blocchi in laterizio tipo B, altezza 20 cm + 4 cm di soletta in cls + 15 cm di intonaco di intradosso. Interasse travetti 50 cm	362	50
Solaio a pannelli ad armatura lenta spesso 22 cm, con blocchi in laterizio tipo B, altezza h 16,5 cm + 4 cm di soletta in cls + 15 cm di intonaco all'intradosso. Interasse pannelli 80 cm	321	48,5
Solaio a pannelli ad armatura lenta spesso 25,5 cm, con blocchi in laterizio tipo B, altezza h 20 cm + 4 cm di soletta in cls + 15 cm di intonaco all'intradosso. Interasse pannelli 80 cm	369	52,5
Solaio spesso 24 cm, costruito con lastre precomprese di 4 cm, con blocchi di alleggerimento in polistirolo alti 16 cm + 4 cm di soletta in cls. Interasse delle lastre 120 cm	261	50,5
Solaio spesso cm 28,5, costruito con lastre precomprese di 4 cm, con blocchi di alleggerimento in polistirolo alti 20,5 cm + 4 cm di soletta in cls. Interasse delle lastre 120 cm	296	53,5
Solaio spesso 20 cm costruito con lastre precomprese di 4 cm, con blocchi collaboranti in laterizio tipo B alti 12 cm + 4 cm di soletta in cls. Interasse delle lastre 120 cm	419	51,5
Solaio spesso 24,5 cm, costruito con lastre precomprese di 4 cm, con blocchi collaboranti in laterizio tipo B alti 16,5 cm + 4 cm di soletta in cls. Interasse delle lastre 120 cm	458	53,5

3. La posa in opera di blocchi per solaio a bassa percentuale di foratura.

4a. 4b. Il blocco "Multiuso" utilizzabile sia per la realizzazione di solai che per la costruzione di murature portanti.

cessivi "aggiustamenti" apportati nel tempo.

Possibili interventi sui prodotti in laterizio per migliorarne le prestazioni termiche sono di seguito elencati, anche se ognuno di essi può presentare difficoltà o controindicazioni di produzione:

- cavità più piccole o di forma tale da minimizzare il flusso scambiato per irraggiamento;
- cavità con superfici trattate con sostanze a bassa emissività o riempite di isolante leggero o espanso;
- impiego di laterizio alleggerito in pasta a bassa conducibilità termica;
- adozione di maggiori altezze dei blocchi e/o aumento dell'interasse.

Innovazioni di prodotto

Le ricerche condotte hanno decisamente contribuito a far conoscere meglio pregi e limiti del solaio attuale; hanno anche suggerito possibili indirizzi per migliorare il prodotto "solaio in laterizio", così da poter rispondere in modo completo a tutte le varie richieste: termoigrometriche, acustiche, di resistenza al fuoco estatiche, confermandone naturalmente gli attuali punti di forza.

Le sperimentazioni sul comportamento acustico dei solai hanno evidenziato margini di migliorabilità dei laterizi volti alla riduzione della trasmissione sia del rumore aereo che del rumore di calpestio.

Tali fenomeni di trasmissione sono correlati alla elasticità della pasta di argilla, e quindi del blocco, e, in modo non secondario, al disegno del blocco stesso. I fenomeni di risonanza che si manifestano alle alte frequenze

Le prove al fuoco hanno poi evidenziato quanto meno un comportamento opportunamente migliorabile dei solai attuali.

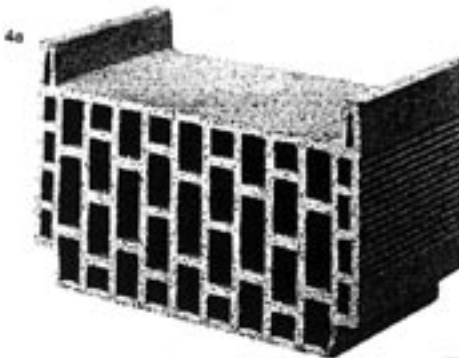
Le innovazioni devono essere anche attente a quanto avviene in campo europeo.

Se infatti in Spagna si producono blocchi da solaio con caratteristiche analoghe ai prodotti italiani, e, al limite, con percentuale di foratura ancora più elevata, la normativa acustica vigente suggerisce però la necessità di riesaminare questo orientamento in modo da incrementare la prestazione di isolamento acustico.

In Germania viene proposto da qualche tempo un solaio in laterizio con blocchi a percentuale di foratura molto bassa, simili a blocchi da muro semipieni, con percentuale di foratura pari o minore del 45%.

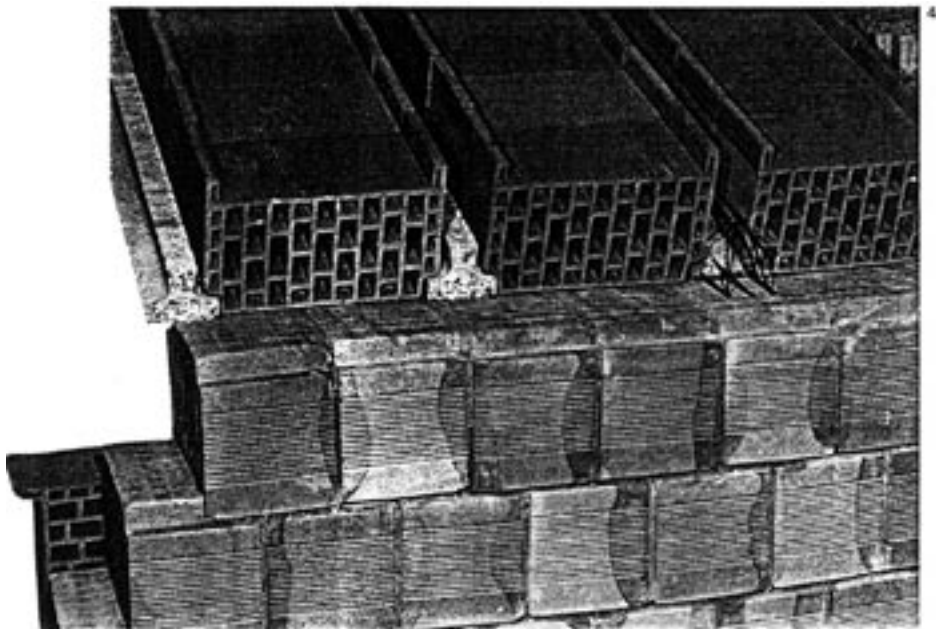
Tenuto conto di queste esperienze e di quanto emerso nelle ricerche ANDIL, anche nel nostro Paese, una tendenza innovativa, può essere quella di produrre blocchi a bassa percentuale di foratura, realizzati sia con argilla alleggerita, che con argilla normale (figura 3).

Va anche evidenziato come blocchi in argil-

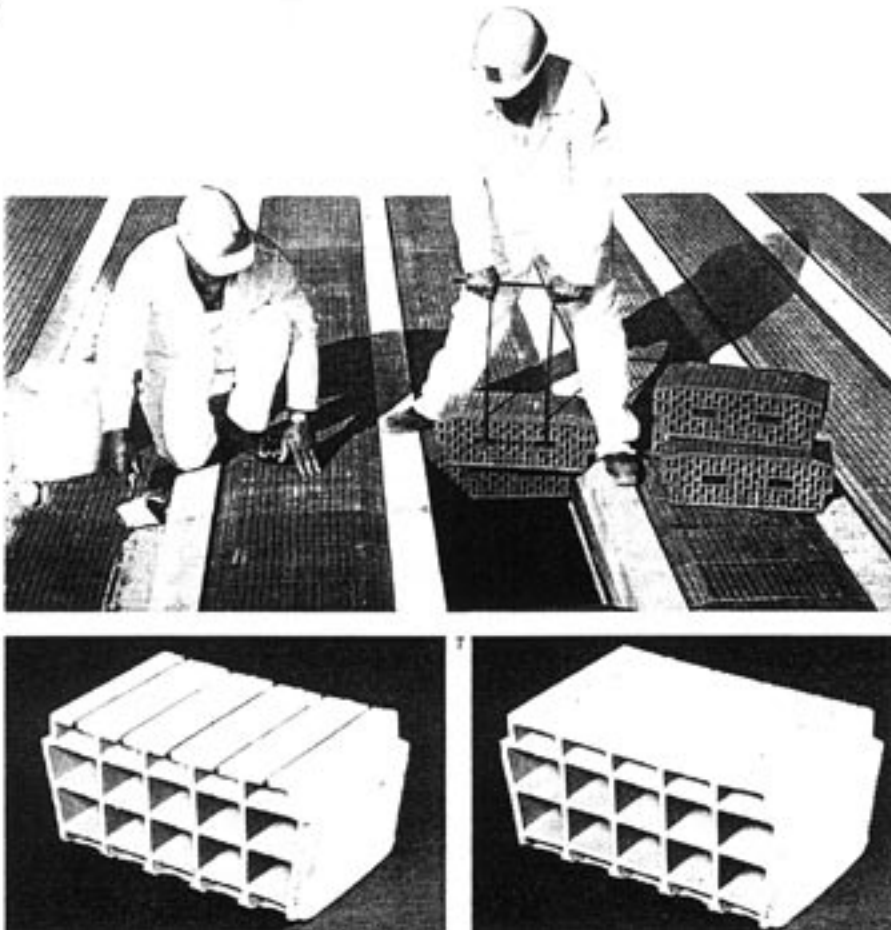


nella trasmissione dei rumori impattivi sembrano indicare la necessità di ridurre le cavità dei blocchi e il modulo elastico dell'argilla.

In campo termoigrometrico, fra i tanti suggerimenti emersi, un'ipotesi di lavoro si basa sui miglioramenti ottenibili impiegando argilla alleggerita.



5. Il solaio in laterizio associato a travetti in legno.
6. 7. Due prototipi di blocchi in laterizio modificati all'intradosso per migliorarne le prestazioni.



la alleggerita, e quindi a basso modulo elastico, potrebbero contribuire ad assorbire senza danno sollecitazioni non previste in fase di progetto e di calcolo.

Un esempio di solaio a bassa percentuale di foratura è già apparso anche in Italia, sotto il nome di blocco "multiuso" presentato al SAIE '89, riscuotendo notevole interesse da parte degli utenti.

Questo, senza entrare nel merito dell'effettiva applicabilità del prodotto e della convenienza di realizzare blocchi utilizzabili sia per solai che per la costruzione di murature portanti, ha evidenziato l'interesse e la disponibilità verso nuovi prodotti in laterizio (figura 4a e 4b).

Ma l'innovazione sta procedendo anche su altre strade: forti attese si hanno sulle tecnologie miste.

Prendendo infatti a riferimento i metodi costruttivi e l'uso dei materiali che in passato hanno segnato profondamente le soluzioni strutturali, si sta aprendo un nuovo settore con proposte di solai in laterizio e legno.

La figura 5 mostra appunto la posa in opera di un solaio realizzato con blocchi interposti a bassa percentuale di foratura, nel quale il travetto tradizionale in calcestruzzo precompresso o a traliccio è stato sostituito da un travetto in legno lamellare utilizzando quindi anche le esperienze e le innovazioni più attuali del legno.

In questo modo, il solaio in laterizio può superare il limite di elemento esclusivamente strutturale o di alleggerimento, ed assumere le caratteristiche di forma e di finitura che ne permettono la permanenza "a vista", riscoprendo l'eleganza della tessitura e del colore del cotto.

In prospettiva potranno essere disponibili solai fonoassorbenti, destinati quindi a migliorare le prestazioni acustiche di ambienti di grande volume, facendo sì che l'intradosso del solaio, a vista, si trasformi in un risonatore di Helmholtz.

Questa tecnica è per ora oggetto di ricerca e sperimentazione sui blocchi da muro. Le figure 6 e 7 mostrano due prototipi ottenuti

da blocchi di produzione tradizionale, solo modificati all'intradosso con una serie di fori e fessure che mettono in comunicazione le cavità interne con l'ambiente.

Fori e fessure, opportunamente studiati e dislocati, consentono di ottenere la correzione acustica contestualmente con la realizzazione della struttura portante.

Un altro importante settore d'innovazione è legato ai solai studiati in particolare per migliorare la resistenza al fuoco.

E ancora un'ipotesi in corso di verifica, ma, attraverso la modifica dei componenti del solaio, si ritiene possibile realizzare una struttura con elevate caratteristiche di resistenza al fuoco senza dover ricorrere a forti spessori di intonaco isolante.

Anche in questo caso si sta operando sia sul disegno del laterizio per travetto, che sul progetto del blocco, utilizzando i suggerimenti ottenuti dall'analisi termica degli elementi di solaio di produzione corrente, realizzando piccole cavità associate all'impiego di laterizio alleggerito in pasta, in grado quindi complessivamente di fornire migliori resistenze al fuoco, ottimizzando contemporaneamente le caratteristiche di isolamento termico.

Le prove, le sperimentazioni e le ricerche di questi anni recenti hanno generato così un'auspicata, effettiva, concreta ricaduta sull'industria, ed hanno avuto una funzione insostituibile di stimolo per l'individuazione delle prospettive del settore.

Bibliografia

- Documenti interni ANDIL, 1990-1991
- Circolare MLP n. 1769 del 30/4/1966 "Criteri di valutazione collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie"
- D.P.C.M. 1/3/1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno" G.U. 8/3/1991
- G. Vincenzini, G. Ortelli: "L'analisi dilatometrica" Cer. Inf. 2ª parte
- D.M. 27/7/1985, D.M. 14/2/1992 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- G. Shellbach, H. Schmidt, "Influence of the raw materials and the production methods on the deformation behaviour of clay bricks or blocks. Effects of these deformations on buildings construction" Ziegelind 10/1980
- F. Vaughan, A. Dinsdale, "Moisture expansion" Brit. Cer. Soc. 61, 1962
- W. F. Cole, "On the prediction of long-term moisture expansion of fired clay bricks" Aust. Ceram. Soc. 24/1988
- Progetto di norma CTI 1/36 "Resistenza termica di murature e solai" E.02.01.036.0
- U.N.I. 9730 Elementi di laterizio per solai