

Prestazioni termiche dell'involucro edilizio

Un reale edificio in muratura pesante progettato secondo strategie bioclimatiche è stato analizzato, in termini di prestazioni energetiche e condizioni di benessere, mediante simulazioni in regime dinamico effettuate sia in periodo invernale, sia in periodo estivo. Per la stagione di riscaldamento sono state svolte ulteriori analisi mediante strumenti di calcolo operanti in regime stazionario

Di fronte alla necessità di ridurre l'impatto ambientale prodotto dagli edifici, esigenza motivata tra l'altro da ragioni economiche, sociali ed etiche, si sta finalmente diffondendo una maggiore sensibilità sui problemi del risparmio energetico.

In merito, la Direttiva europea 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia ha dato impulso a un rinnovamento legislativo, che in Italia ha prodotto, a livello nazionale, il Decreto 19 agosto 2005 n. 192 (ora corretto e integrato dal Decreto 29 dicembre 2006, n. 311) e, a livello locale, una nuova serie di regolamenti improntati alla riduzione dei consumi e alla certificazione energetica.

Nei luoghi della progettazione, il tema ha prodotto effetti più o meno profondi. Laddove esisteva già la volontà di confrontarsi con questi argomenti, si è ricevuta una gratificante conferma sulle scelte compiute: ne è nato un forte incoraggiamento a proseguire verso la ricerca e la sperimentazione di paradigmi progettuali innovativi.

In altri casi, invece, si è compiuto uno sforzo di minore rilievo, per uniformarsi alle nuove esigenze del mercato, ritenendo sufficiente il rispetto passivo e acritico dei limiti posti dalla nuova normativa.

Questo atteggiamento avrà conseguenze gravi, perché incoraggia una pericolosa omologazione degli organismi edilizi a livello europeo: gli innumerevoli esempi di edifici a basso consumo che ci giungono dai Paesi centro-europei, Austria e Germania *in primis*, hanno creato l'illusione che quei modelli edificativi, spesso estranei alla tradizione costruttiva nazionale, si possano imitare tali e quali sul territorio italiano, ripetendone i successi in modo indiscriminato.

Ci si dimentica che le sollecitazioni climatiche dell'Europa continentale sono ben diverse da quelle dell'ambiente mediterraneo, caratteristico di buona parte della Penisola. Trattandosi in generale di climi freddi con estati miti, nel primo caso è del tutto prioritaria la valutazione delle dispersioni in periodo invernale; ma in molte parti d'Italia la situazione è completamente diversa: si consuma più energia per raffrescare che per riscaldare, con una abnorme proliferazione di condizionatori, tanto che nell'estate del 2006, per la prima volta, il picco dei consumi elettrici ha superato quello invernale.

È quindi indispensabile che, nel progetto quanto nell'ordinamento normativo, la questione dell'efficienza energetica in periodo estivo rivesta almeno la stessa importanza che già merita per il periodo invernale.

La Direttiva 2002/91/CE sottolinea in più passaggi come l'adozione di tecniche di raffrescamento passivo sia prioritaria nei Paesi dell'Europa meridionale⁽¹⁾, ma nei fatti essa è stata recepita da un Decreto che ad oggi (si è in attesa dei decreti attuativi) riporta scrupolose prescrizioni quantitative sull'isolamento termico dell'involucro edilizio e sui rendimenti dell'impianto di riscaldamento, mentre stabilisce disposizioni poco più che qualitative per ciò che riguarda il raffrescamento passivo⁽²⁾.

Allo stesso modo di quanto accade con i modelli costruttivi, nelle norme italiane nazionali e locali sono stati introdotti sistemi di valutazione delle prestazioni energetiche mutuati da quelli di altri contesti climatici, senza una seria verifica sulla loro efficace applicabilità.

È ragionevole dunque temere la nascita di edifici certificati come energeticamente efficienti, ma che invece potrebbero

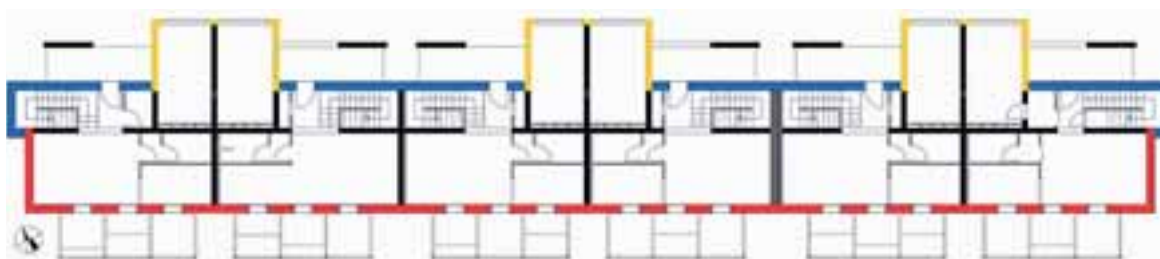
1. Viste dell'edificio bioclimatico a Pieve di Cento (Bo) di "Ricerca e Progetto Galassi, Mingozzi e associati in Bologna".

In pianta si evidenzia la differenziazione delle murature in funzione dell'orientamento.



muratura esterna portante intonacata, lato sud

muratura esterna portante con finitura faccia a vista, lato nord



essere poco adatti a rispondere alle reali sollecitazioni climatiche dell'area mediterranea; d'altro canto, in assenza di strumenti di valutazione ufficialmente riconosciuti, si corre il rischio di non riuscire a comunicare con chiarezza e con completezza le reali prestazioni di un edificio in relazione al clima nazionale.

In maniera molto riduttiva, i componenti dell'involucro edilizio sono descritti da un singolo parametro, la trasmittanza termica, intesa come capacità di trasmettere istantaneamente il calore da un lato all'altro di una chiusura che separa ambienti a temperatura diversa. Il rilievo attribuito a questa grandezza è proporzionale all'esigenza di contenere le dispersioni termiche invernali: bassa trasmittanza termica significa, infatti, sempre minore consumo energetico per riscaldamento.

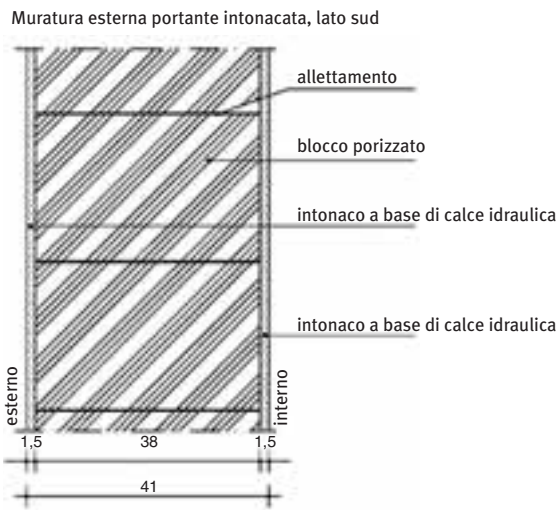
Assumere la trasmittanza come unico indicatore consente di eseguire analisi energetiche semplificate, cioè in regime stazionario, per le quali sono sufficienti dati climatici molto aggregati, su base mensile o addirittura stagionale.

Da questo approccio e dai suoi vantaggi semplificativi scaturisce la cieca tendenza ad isolare sempre più: ma un isolamento estremo può avere effetti incerti nel periodo estivo. Nei climi caldi esso deve essere necessariamente affiancato da adeguati sistemi per controllare e gestire i guadagni gratuiti (fonti di calore all'interno dell'edificio, radiazione solare attraverso le superfici trasparenti, ecc.), altrimenti si determina un sensibile deterioramento delle condizioni di benessere e sorge la necessità di raffrescare artificialmente. L'isolamento, che trattiene il prezioso calore in inverno, durante l'estate svolge la medesima funzione, determinando il potenziale surriscaldamento degli ambienti.

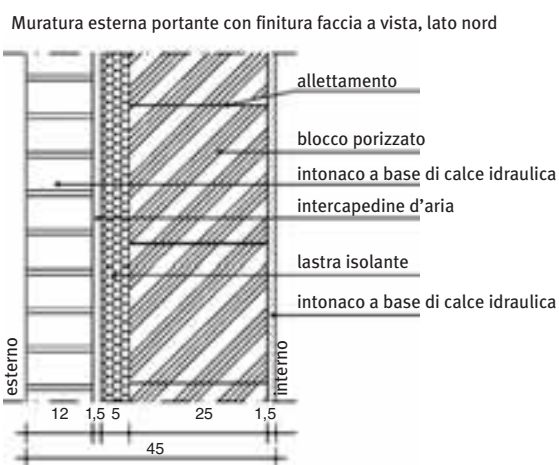
Se non si desidera realizzare un involucro completamente slegato dal proprio contesto, dotato di un suo microclima indipendente, in cui anche i ricambi d'aria sono gestiti artificialmente ed è vietato aprire le finestre, ma si vuole invece una casa che interagisca e dialoghi con l'ambiente circostante, modulando intrinsecamente, senza consumare energia, la complessità e l'imprevedibilità del clima, allora occorre per forza rinunciare all'approccio semplificato e considerare anche le proprietà dinamiche dell'involucro edilizio. Le chiusure opache dotate di una massa consistente accumulano e rilasciano il calore in maniera complessa, non solo smorzando i picchi di temperatura dell'esterno, ma differendoli nel tempo: si tratta della cosiddetta "inerzia termica", che genera ripercussioni molto rilevanti sulle prestazioni energetiche complessive, tanto in estate quanto in inverno. L'adozione di strategie di raffrescamento passivo basate su tali fenomeni richiede di condurre un'analisi in regime dinamico, ponendosi cioè in una scala temporale molto ristretta, dell'ordine delle ore; questo permette di considerare con il giusto peso fattori come l'escursione termica giorno-notte e la variazione dell'irraggiamento solare nel corso della giornata.

La ricerca, da cui questo articolo trae spunto⁽³⁾, ha analizzato le prestazioni termiche di un edificio in muratura portante sito a Pieve di Cento (BO), realizzato applicando con particolare cura le strategie bioclimatiche (fig. 1)⁽⁴⁾.

Sono state confrontate, avvalendosi di simulazioni in regime dinamico⁽⁵⁾, le prestazioni energetiche delle murature oggetto di studio, costruite con laterizio alleggerito in pasta, rispetto ai sistemi struttura-isolamento. In particolare, a differenza di altri studi condotti sul tema, non sono stati presi in esame ele-



Spessore complessivo	41	cm
Trasmittanza termica	0,37	$W/m^2 \cdot K$
Massa frontale	405	kg/m^2
Fattore di decremento (smorzamento)	0,06	
Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento)	19,02	h



Spessore complessivo	45	cm
Trasmittanza termica	0,29	$W/m^2 \cdot K$
Massa frontale	361	kg/m^2
Fattore di decremento (smorzamento)	0,08	
Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento)	16,68	h

2. Particolari costruttivi e caratteristiche termiche delle principali murature utilizzate nell'edificio bioclimatico di Pieve di Cento (Bo).

menti murari avulsi dal contesto, ma è stato fatto sempre riferimento al progetto concreto, collocato in un clima "reale". In questo modo sono chiaramente emerse le relazioni energetiche che si stabiliscono tra i componenti dell'involucro edilizio ed è stato possibile osservare come le reciproche influenze possano condizionare il bilancio termico globale.

Le chiusure verticali in laterizio alveolato del caso in esame non si limitano a rispettare i valori di trasmittanza imposti dal D.Lgs. 192/05, ma sono il frutto di una riflessione più attenta sul rapporto con il clima e con gli altri aspetti progettuali: esse sono dotate delle opportune proprietà dinamiche in modo da modulare l'impatto sole-aria, specialmente in estate, e sono differenziate in relazione all'orientamento (figg. 1 e 2): a sud è stato scelto un muro massiccio caratterizzato da isolamento diffuso, che meglio valorizza e regola gli apporti solari; a nord, i pacchetti costruttivi contengono anche strati di puro isolamento, per resistere meglio al freddo e contenere al massimo le dispersioni.

Per rappresentare il sistema edilizio caratterizzato da soluzioni costruttive di tipo struttura-isolamento, le simulazioni hanno riguardato anche un edificio gemello, che si differenzia dall'edificio di progetto soltanto per via della massa perimetrale inferiore, dovuta a pareti e solai più leggeri (fig. 3). Tutte le altre caratteristiche, in particolare le trasmittanze termiche, sono state mantenute invariate.

L'analisi dei fabbisogni energetici per riscaldamento è stata condotta secondo le convenzioni ormai consolidate⁽⁶⁾, non solo mediante la simulazione in regime dinamico, ma anche con l'ausilio di tre strumenti informatici operanti in regime stazionario (Casaclima, EcoDomus, Edilclima), rappresentativi dei vari livelli di approfondimento con cui si può condurre oggi l'analisi termica degli edifici, al fine di dimostrare il semplice rispetto dei limiti di legge, di certificare l'efficienza energetica di un involucro edilizio, o di indagarne il rapporto con il clima nel corso della progettazione.

Simulare il medesimo edificio utilizzando più strumenti, stazionari e dinamici, ha consentito di mettere in chiara luce quali sono le informazioni a cui si rinuncia scegliendo di utilizzare modelli che tengono conto in misura nulla o molto limitata degli effetti dinamici della massa e dell'inerzia termica. Gli strumenti stazionari, che sono quelli più comunemente utilizzati nel dialogo con le Istituzioni, le Amministrazioni e la società, hanno il pregio della semplicità, ma non valorizzano in misura sufficiente le differenze tra un edificio che si limita a rispettare i limiti di legge ed uno progettato per rispondere in modo appropriato e naturale alle sollecitazioni climatiche dell'ambiente circostante.

Seppure gli effetti più eclatanti della massa e delle proprietà dinamiche dell'involucro si realizzano in periodo estivo, il loro contributo alla riduzione dei consumi per riscaldamento invernale non è affatto trascurabile.

Nel caso dell'edificio realizzato con sistema struttura - isola-

mento, in cui la massa dell'involucro è stata volutamente scelta molto contenuta, il fabbisogno energetico calcolato dai vari strumenti è risultato abbastanza omogeneo: assumere la trasmittanza termica come unico parametro caratteristico delle murature può essere, in tale circostanza, un'approssimazione accettabile (tab. 1).

Nel caso dell'edificio di progetto in muratura pesante, invece, sorge un divario profondo: il modello dinamico stima un fabbisogno energetico per riscaldamento fino al 30% inferiore rispetto alle analisi in regime stazionario. La riduzione dei fabbisogni energetici determinata dallo smorzamento dei picchi di freddo acquisisce ora un peso assai rilevante, che solo la simulazione in regime dinamico mette completamente in luce (tab. 2).

L'effetto modulante della massa è chiaramente osservabile verificando in dettaglio l'andamento orario dei valori di temperatura in una settimana rappresentativa del periodo invernale; in fase progettuale, questa operazione è possibile esclusivamente grazie alla simulazione in regime dinamico.

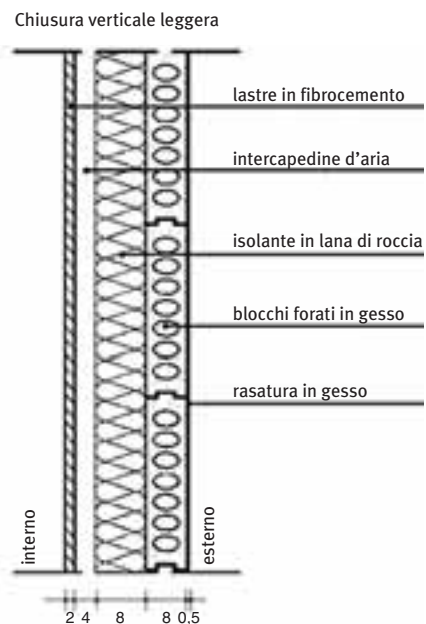
All'esame dei grafici occorre premettere una considerazione fondamentale: il benessere percepito in una stanza dipende dall'effetto congiunto di due fattori, parimenti importanti: la temperatura dell'aria e la temperatura delle superfici; la prima interagisce con la superficie corporea tramite il contatto diretto, mentre la seconda si manifesta attraverso gli scambi radiativi. È per questo che in inverno, quanto meno i muri sono freddi rispetto alla temperatura dell'aria ambiente, tanto più si realizzano buone condizioni di comfort abitativo.

In figura 4 è rappresentata la temperatura esterna dell'aria, che permette di visualizzare le reali variazioni climatiche; inoltre, sia per l'edificio massivo, sia per l'edificio "leggero", sono indicate la temperatura dell'ambiente interno e la temperatura superficiale interna di una parete orientata a sud. La simulazione che qui si riporta è stata condotta seguendo le consuete standardizzazioni per il calcolo dei fabbisogni energetici: impianto di riscaldamento in regime di attivazione continua e ricambi d'aria costanti nell'arco delle ventiquattro ore.

Appare chiaro come il muro leggero risponda molto più prontamente alle sollecitazioni esterne; la trasmissione del calore tra i due lati della chiusura è rapida (in totale assenza di massa sarebbe un fenomeno istantaneo); possedendo una capacità termica inferiore, questo tipo di muro immagazzina meno energia e quindi si scalda e si raffredda velocemente: così si spiega l'andamento brusco delle temperature, che seguono con sollecitudine le variazioni dell'impatto sole-aria.

Nel caso di un edificio massivo, invece, l'energia ricevuta nelle ore più calde viene immagazzinata e immessa all'interno in quantità dilazionata nel tempo; nell'immediato, dunque, l'ambiente riceve meno calore, perché esso viene conservato nella massa termica delle chiusure.

La cessione di energia in tempi successivi ha l'effetto di sopprimere meglio alla richiesta di riscaldamento quando la radia-



Spessore complessivo	22,5 cm
Trasmittanza termica	0,29 W/m ² · K
Massa frontale	99 kg/m ²
Fattore di decremento (smorzamento)	0,75
Ritardo del fattore di smorzamento (sfasamento)	4,76 h

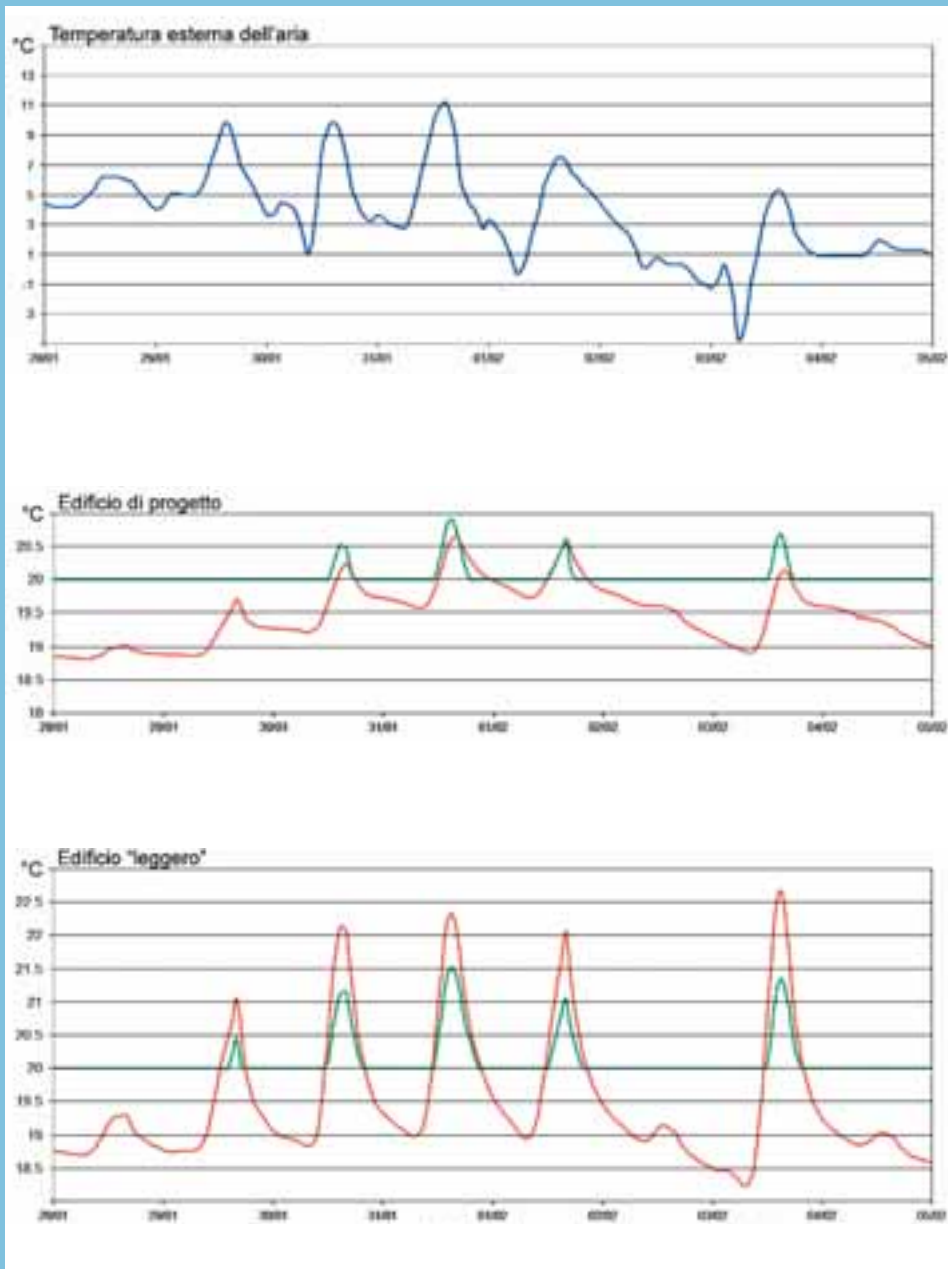
3. Dettaglio di una delle chiusure leggere utilizzate per simulare l'edificio di tipo struttura-isolamento. Si noti che la trasmittanza termica è pari a quella del muro portante con finitura faccia a vista.

1 Bilancio energetico dell'edificio "leggero" stimato con quattro differenti strumenti di simulazione (unità di misura: MJ).

	EnergyPlus	Edilclima	CasaClima	EcoDomus
Perdite dell'involucro	250363	254763	236708	241920
Guadagni gratuiti	132639	121605	93921	116489
Fabbisogno energetico	117724	133158	142787	125431

2 Bilancio energetico dell'edificio in muratura "pesante" stimato con quattro differenti strumenti di simulazione (unità di misura: MJ).

	EnergyPlus	Edilclima	CasaClima	EcoDomus
Perdite dell'involucro	232588	254763	236708	241920
Guadagni gratuiti	134444	133600	104815	116489
Fabbisogno energetico	98144	121163	131893	125431



4. Andamento orario delle temperature nei due casi di studio, in una settimana rappresentativa del periodo invernale.

Legenda:

- T superficiale interna
- T aria interna

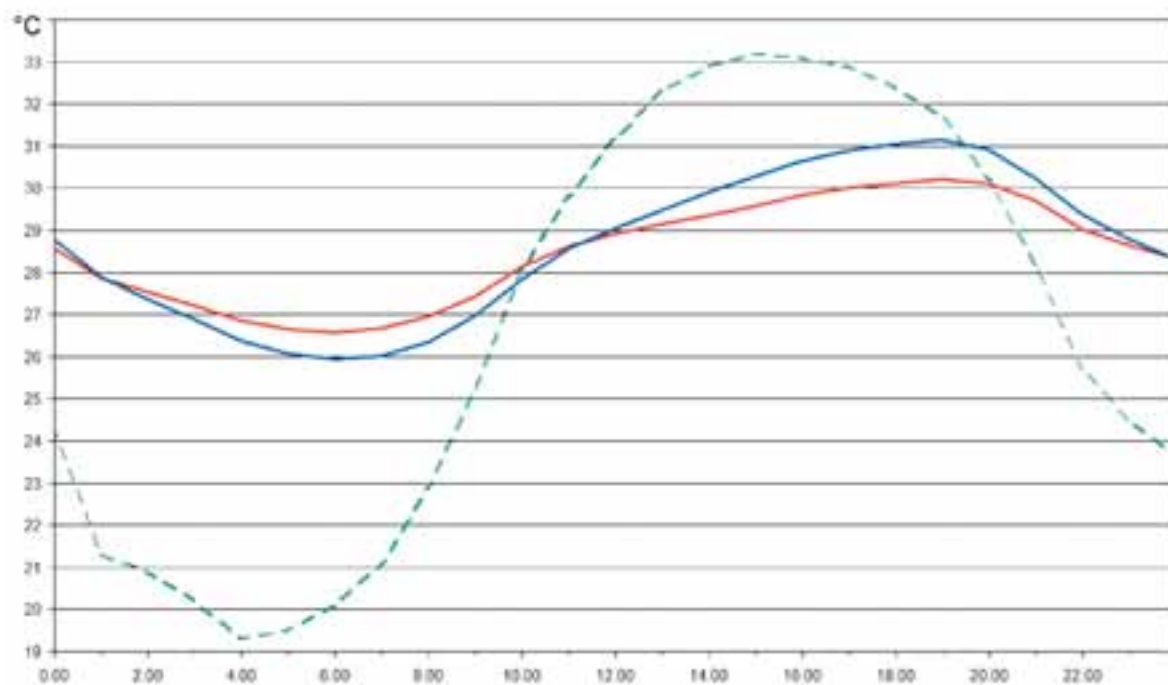
zione solare viene a mancare: nei giorni nuvolosi e soprattutto di notte. Così si spiega il minore fabbisogno energetico richiesto da parte dell'edificio di progetto rispetto al caso struttura-isolamento.

Inoltre, quando il clima non apporta guadagni gratuiti, la temperatura superficiale del muro leggero diminuisce molto più velocemente rispetto al caso "pesante", raggiungendo valori minimi più bassi: ciò significa che il benessere ambientale che si riscontra nell'edificio realizzato con muratura in laterizio è migliore, perché la temperatura "operante", media della temperatura ambiente e della temperatura superficiale, si mantiene più alta.

L'esame delle temperature orarie in periodo estivo, riportate in figura 5, conferma e rafforza le osservazioni finora compiute: la temperatura superficiale del muro in laterizio oscilla più dolcemente, mantenendo la temperatura radiante su va-

lori che meglio soddisfano le condizioni di benessere. Inoltre, nel caso di un edificio povero di proprietà inerziali, l'aria interna subisce la trasmissione immediata del calore esterno, innalzando la propria temperatura più marcatamente rispetto al caso della muratura in laterizio.

I vantaggi dell'accumulo inerziale sono molteplici, al di là dei semplici casi riportati. L'attenzione è di solito posta sulla reazione alle sollecitazioni climatiche, mentre è importante tenere presente che anche le fonti di calore interne possono costituire fattori significativi nel determinare le condizioni di benessere e incidere sui consumi energetici: un aumento brusco e molto rilevante dei carichi termici può verificarsi, ad esempio, in presenza di un numero elevato di persone. In tali casi, un muro senza massa termica aumenta molto rapidamente la propria temperatura superficiale, causando in estate un notevole deterioramento del comfort interno.



5. Confronto tra l'andamento orario delle temperature "operanti" nei due casi di studio, nell'arco di una giornata rappresentativa del periodo estivo, in assenza di sistemi di condizionamento: i picchi raggiunti nell'edificio "leggero" oltrepassano di circa 1°C quelli dell'edificio di progetto.

— T operante "pesante"
 — T operante "leggero"
 - - - T aria esterna

Conclusioni L'uso avveduto della massa termica ha un notevole effetto positivo sulle condizioni di benessere, sui consumi energetici e sui carichi per il raffrescamento, in particolare quelli di picco, che costituiscono uno dei motivi dei blackout estivi. Nel valutare i costi energetici, bisogna pertanto considerare sia i consumi complessivi, sia i carichi massimi, che determinano il dimensionamento degli impianti di climatizzazione. Se ben progettata, la massa funziona come volano termico, sia d'inverno che d'estate, quando preserva la temperatura media radiante e procura una vera sensazione di freschezza, diversa per qualità da quella che produce il solo raffreddamento dell'aria. La massa, naturalmente, non costituisce di per sé una soluzione applicabile *tout-court* per migliorare automaticamente le prestazioni energetiche.

L'uso di un involucro pesante implica una consapevolezza radicata delle proprietà dinamiche delle chiusure ed è una soluzione che si sposa felicemente con le strategie bioclimatiche, in un percorso progettuale sempre conscio delle proprie scelte e volto a ricontrollarle in ogni fase.

A livello professionale è dunque importantissimo approfondire quanto più possibile le analisi energetiche, dotandosi dei mezzi e delle competenze per utilizzare gli strumenti che operano in regime dinamico, gli unici che possono dare un'informazione completa, tangibile sostegno alla progettazione. ¶

Note

1. La considerazione 18 recita: "Negli ultimi anni si osserva una crescente proliferazione degli impianti di condizionamento dell'aria nei Paesi del sud dell'Europa. Ciò pone gravi problemi di carico massimo, che comportano un aumento del costo dell'energia elettrica e uno squilibrio del bilancio

energetico di tali Paesi. Dovrebbe essere accordata priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare il rendimento termico degli edifici nel periodo estivo. Concretamente, occorrerebbe sviluppare maggiormente le tecniche di raffreddamento passivo, soprattutto quelle che contribuiscono a migliorare le condizioni climatiche interne e il microclima intorno agli edifici."

2. Prescrivere una massa superficiale di almeno 230 kg/m² appare un provvedimento insufficiente: un'analisi condotta su sei pareti di tamponamento correntemente utilizzate dimostra che porre un limite minimo alla massa superficiale non garantisce il raggiungimento di adeguate prestazioni estive (C. Gargari, Laterizio: energia e qualità dell'abitare, Costruire in Laterizio n. 112, 2006).

3. L'indagine, intitolata "Analisi delle prestazioni termiche dell'involucro in laterizio valutate in regime dinamico nel 'sistema-edificio' in un contesto climatico mediterraneo", nasce nell'ambito della convenzione stipulata tra il Consorzio Alveolater e il Centro Studi di Progettazione "Edilizia Eco-compatibile" del Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Bologna. Tutori della borsa di studio sono G. Zanarini, direttore del Consorzio Alveolater, e A. Mingozzi e S. Bottiglioni, rispettivamente presidente e socio di "Ricerca e Progetto, Galassi Mingozzi e associati" in Bologna, studio di progettazione al cui interno l'autore ha maturato il bagaglio culturale e l'esperienza professionale indispensabili per sviluppare i temi trattati.

4. Il progetto di Pieve di Cento, elaborato in tutti i suoi aspetti nello studio "Ricerca e Progetto, Galassi Mingozzi e associati" in Bologna, ha interessato un gruppo di lavoro multidisciplinare organizzato secondo i metodi della progettazione integrata. In particolare A. Mingozzi è progettista e d.l. generale e architettonico; S. Bottiglioni è progettista degli impianti. Entrambi hanno curato gli aspetti di controllo ambientale. L'edificio fa parte di un intervento residenziale su scala urbanistica, improntato alla sostenibilità, in cui la gestione dell'impatto sole-aria ha profondamente motivato le scelte progettuali.

5. Allo scopo è stato utilizzato EnergyPlus, programma sviluppato nel Lawrence Berkeley National Laboratory per il Dipartimento per l'Energia degli Stati Uniti. Esso opera ad intervalli orari, nei quali calcola simultaneamente i flussi convettivi e radianti, e ricava una soluzione basata sul bilanciamento del calore. È uno degli strumenti più evoluti per l'analisi energetica del sistema edificio-impianto (<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>).

6. Sono state seguite le indicazioni di: D.Lgs. 192/05, UNI EN 832, Raccomandazione CTI R 03/3, dati climatici UNI 10349.