

L'importanza dell'inerzia termica per il contenimento dei consumi energetici ed i parametri per valutarla

Elena Fabi

È sempre più evidente la necessità di garantire una progettazione efficiente dal punto di vista energetico. Tuttavia la tendenza corrente di sovradimensionare l'isolamento termico dell'involucro rischia in diversi casi di non essere la soluzione ottimale del problema, conducendo ad una riduzione delle prestazioni di benessere ambientale degli edifici oltre ad un incremento dei consumi energetici, in particolare per il raffrescamento estivo.

L'inerzia termica dell'involucro edilizio è una strategia "passiva" molto importante per il contenimento del fabbisogno energetico, non solo per i consumi estivi ma anche per quelli invernali, che consente inoltre un maggiore controllo delle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente interno a vantaggio della salubrità e del comfort abitativo. Si espongono di seguito i parametri che consentono di valutare le qualità inerziali dell'involucro.

1. Isolamento termico e inerzia termica

Si può dire senza timore di smentite che il problema dell'isolamento termico degli edifici viene da sempre visto quasi esclusivamente con riferimento all'isolamento dal freddo ed all'esigenza di garantire un adeguato riscaldamento degli ambienti interni nella stagione invernale, non preoccupandosi invece del problema opposto, cioè di garantire anche un buon comportamento dell'edificio nella stagione estiva.

Quando si guarda l'isolamento termico di un componente si va immancabilmente a valutare il parametro U del componente, cioè la trasmittanza termica unitaria, che rappresenta il flusso di calore che, in condizioni di regime stazionario, passa attraverso una parete, per m^2 di superficie e per una differenza di temperatura di $1^\circ C$.

Nella realtà la temperatura dell'ambiente esterno varia durante la giornata [fig. 1], con ripercussioni sulle condizioni dell'ambiente interno in relazione alle diverse modalità di trasmissione del calore attraverso le superfici d'involucro. Qualora le strutture disperdenti siano state concepite in modo da essere caratterizzate da una buona "inerzia termica", esse avranno effetti positivi in termini di contributo al risparmio energetico, con riduzione sia

del fabbisogno di energia per riscaldamento che di quello per il raffrescamento.

Una progettazione intelligente dovrebbe tenere dunque conto dell'inerzia termica per sfruttare adeguatamente i benefici che essa può portare in primo luogo in termini di risparmio energetico oltre che di benessere e comfort abitativo. Non si deve dimenticare, infatti, che la tendenza corrente di sovradimensionare l'isolamento termico dell'involucro per perseguire il massimo contenimento dei consumi energetici invernali rischia in diversi casi di non essere la soluzione ottimale del problema, dovendosi considerare anche il comportamento estivo dell'edificio, insieme al comfort degli ambienti abitativi che determina la qualità di vita degli occupanti⁽¹⁾. L'iperisolamento dell'involucro edilizio consente sicuramente di contenere gli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sulle strutture opache ma al contempo ostacola lo smaltimento verso l'esterno degli apporti di energia termica dovuti ad occupanti, radiazione solare incidente sui componenti vetrati, apparecchiature elettriche, di illuminazione e di cottura, con conseguenti problemi di surriscaldamento estivo dell'ambiente interno. L'inerzia termica è un concetto intuitivo ma piuttosto complesso da definire ed ancor più da calcolare. In termini

molto semplici, l'inerzia termica altro non è che l'effetto combinato dell'accumulo termico e della resistenza termica della struttura.

Inoltre, essa agisce sia con un effetto di smorzamento dell'ampiezza dell'onda termica esterna che con lo sfasamento della stessa, cioè con il ritardo di tempo intercorrente tra l'impatto della sopradetta onda termica sulla superficie esterna del muro ed il suo apparire, con intensità smorzata, sulla faccia interna del muro stesso [fig. 1]. Ne consegue che l'inerzia è tanto migliore quanto più si amplificano gli effetti combinati dello smorzamento e sfasamento.

2. La normativa sul risparmio energetico

Sulla questione del contenimento del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva, le indicazioni delle vigenti norme sul risparmio energetico in edilizia, risultano piuttosto approssimate e per nulla incisive.

Il decreto requisiti minimi⁽²⁾ si limita, infatti, a richiedere di verificare, per i componenti opachi orizzontali/inclinati, il parametro trasmittanza termica periodica ($Y_{IE} < 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$) e, per le pareti verticali i parametri massa superficiale M_s ($M_s > 230 \text{ kg/m}^2$) o trasmittanza termica periodica Y_{IE} ($Y_{IE} < 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$), con obbligo limita-

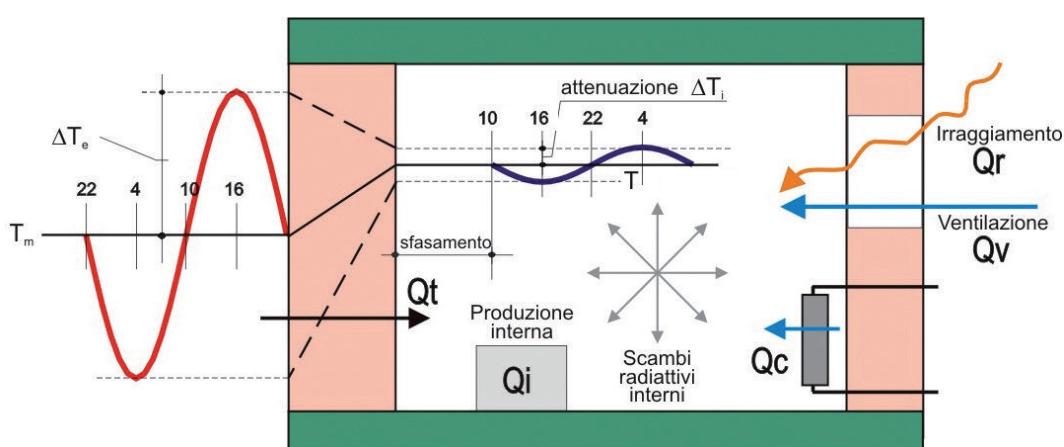
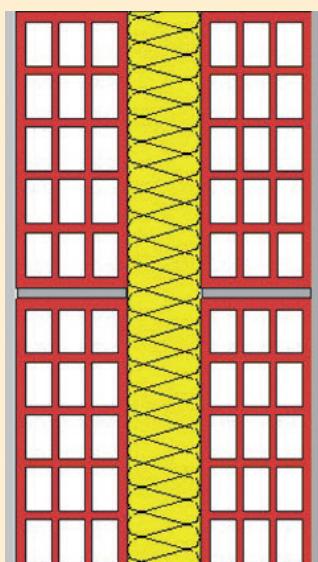
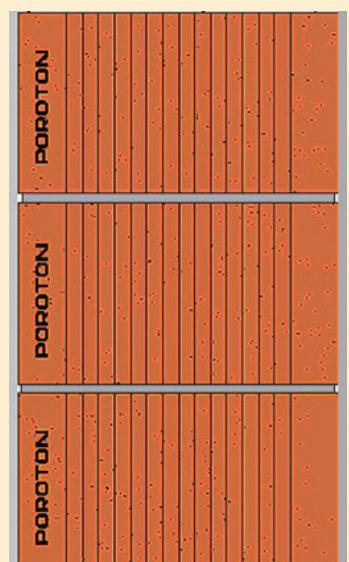


Fig. 1 - Smorzamento e sfasamento dell'onda termica. Pareti dotate di massa superficiale elevata attenuano l'entità dell'escursione termica esterna che si trasmette all'interno (attenuazione) e ne ritardano l'ingresso (sfasamento).

	
<p>Doppia parete (Forati): Sp. Tot. = 35 cm U = 0,30 W/m²K M_s = 145 kg/m² f_a = 0,30 S = 10 h Y_{IE} = 0,10 W/m²K</p>	<p>Parete monosottile POROTON® Sp. Tot. = 41 cm U = 0,30 W/m²K M_s = 280 kg/m² f_a = 0,03 S = 21 h Y_{IE} = 0,01 W/m²K</p>

Tab. 1 - Esempio di pareti che rientrano nei limiti di Y_{IE} ma che, a parità di trasmittanza, hanno caratteristiche di inerzia termica sostanzialmente diverse:

- a) parete con $M_s < 230 \text{ kg/m}^2$
- b) parete con $M_s > 230 \text{ kg/m}^2$

to alle località ricadenti nelle zone climatiche differenti dalla F e nelle quali il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale $I_{m,s}$, nel mese di massima insolazione, sia maggiore o uguale a 290 W/m², ed escludendo dall'obbligo di tale verifica le strutture verticali esposte nei quadranti nord, nord-est e nord-ovest, come se l'inerzia termica di queste pareti non fosse influente sull'ambiente interno.

Invece di favorire soluzioni dotate di "massa capacitiva" per garantire l'inerzia termica, che può comportare riconosciuti vantaggi, in particolar modo durante il regime estivo, queste indicazioni risultano scarsamente significative. Fare riferimento solo alla trasmittanza termica periodica significa non valutare lo sfasamento (S) ed in diversi casi ritenere idonee soluzioni di parete leggere che possono presentare fattori di attenuazione (f_a) inadeguati e che non soddisfano i requisiti

di massa superficiale, pur rientrando nel limite di Y_{IE} ($Y_{IE}=U \cdot f_a$) grazie a trasmittanze U particolarmente basse [tab. 1].

La stessa metodologia di verifica delle prescrizioni in materia di prestazioni energetiche degli edifici è indice della scarsa attenzione al comportamento dinamico dell'involucro edilizio ed ai parametri che, seppure in modo semplificato, possono consentire di tenerne conto. Il decreto requisiti minimi⁽²⁾, infatti, definisce le caratteristiche termiche del fabbricato dell'edificio di riferimento, che riguardano di fatto solo le trasmittanze termiche stazionarie (U), inducendo il progettista ad allinearsi a tali parametri. Il metodo di calcolo adottato è stazionario e quindi non permette di considerare l'andamento dinamico delle variazioni climatiche né la conseguente risposta delle strutture d'involucro. La ricerca di soluzioni che, a parità di trasmittanza ter-

mica U o con trasmittanze termiche diverse da quelle di riferimento, possono vantare caratteristiche inerziali migliori per il benessere ed il comfort abitativo, oltre che essere in grado di ridurre il consumo energetico "reale", dipenderà solo dalla volontà e sensibilità del tecnico, non avendo attualmente alcuna ricaduta sul risultato della verifica.

Scarsamente rilevanti sono anche le informazioni sulla prestazione termica estiva dell'involucro leggibili nell'APE⁽³⁾. La valutazione, puramente qualitativa ed espressa tramite un indicatore grafico del livello di qualità (emoticon), è basata su parametri (trasmittanza termica periodica media, Y_{IE} , e area solare equivalente estiva per unità di superficie utile, $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$) che trascurano completamente qualsiasi beneficio apporciato dall'inerzia termica: l'indicatore così come è costruito non fornisce dun-

Sfasamento (ore)	Attenuazione (-)	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$Fa < 0,15$	ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0,15 \leq Fa < 0,30$	buone	II
$10 \geq S > 8$	$0,30 \leq Fa < 0,40$	medie	III
$8 \geq S > 6$	$0,40 \leq Fa < 0,60$	sufficienti	IV
$6 \geq S$	$0,60 \leq Fa$	mediocri	V

Tab. 2 - Valutazione della qualità prestazionale dell'involucro per il contenimento della climatizzazione estiva in base al previgente D.M. 26.6.2009 "Linee Guida per la Certificazione Energetica".

que alcuna informazione riguardo l'effettiva qualità della prestazione estiva e non consente un confronto diretto in termini di kWh/m² delle prestazioni termiche dell'involucro tra inverno ed estate, che invece sarebbe sicuramente più significativo.

Tutto ciò comporta un forte passo indietro rispetto alle previgenti linee guida per la certificazione energetica, che fornivano la prestazione sempre in termini qualitativi ma con riferimento a parametri più significativi, ossia attraverso l'indice di prestazione termica per il raffrescamento oppure tramite la combinazione dei valori di sfasamento ed attenuazione [tab. 2]. Per maggiori approfondimenti e considerazioni riguardanti le norme sul risparmio energetico in edilizia attualmente in vigore si rimanda agli articoli pubblicati in *Murature Oggi* n. 119 (3/2015)⁽⁴⁾ ed in *Murature Oggi* n. 123 (1/2017)⁽⁵⁾.

3. Parametri significativi per l'inerzia termica: Capacità termica, Sfasamento e Attenuazione

Al di là degli obblighi normativi, la soluzione migliore dal punto di vista del comportamento termico reale, sia invernale che estivo, è quella di realizzare una struttura verticale opaca (parete) con un corretto equilibrio tra prestazioni di isolamento termico stazionario e prestazioni inerziali in regi-

me dinamico che conseguono dalla massa superficiale della struttura. Per valutare queste ultime essa deve in definitiva soddisfare, quanto meno, entrambi i requisiti, M_s e Y_{IE} , indipendentemente da località e orientamento, senza prescindere, però, dalla valutazione dei parametri che, seppure in modo semplificato, meglio possono rappresentare le doti inerziali dell'involucro stesso, quali *capacità termica*, *sfasamento* e *fattore di attenuazione*. Il primo parametro, la *capacità termica*, rappresenta l'attitudine della parete ad accumulare e rilasciare calore in regime termico dinamico. La *capacità termica volumica* C di un materiale si calcola come prodotto tra la sua massa volumica ρ e il suo calore specifico c ed è strettamente correlata alla *diffusività termica* α , proprietà che indica la velocità con la quale il calore si diffonde attraverso il mezzo in regime termico dinamico espressa come rapporto tra la capacità che ha un materiale di condurre energia termica e la sua capacità di accumulare energia, infatti si calcola come:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (\text{m}^2/\text{h})$$

dove:

- λ = conducibilità termica (W/mK)
- ρ = massa volumica (kg/m³)
- c = calore specifico (J/kg K)

Caratteristiche inerziali ottimali sono delineate da bassi valori di diffusività termica, conseguibili grazie ad una

certa "massa capacitiva" della parete unita ad una ridotta conduttività termica: in altre parole non si deve eccedere né nel peso frontale trascurando la conduttività, né al contrario ridurre eccessivamente la conduttività trascurando la massa. Ad esempio, i blocchi POROTON®, caratterizzati da una buona/ottima conducibilità abbinata ad un'elevata massa, forniscono la combinazione ideale.

Gli effetti positivi dell'inerzia termica sono però quantificabili anche grazie alla combinazione dei valori di altri due parametri precedentemente menzionati:

- lo *sfasamento temporale di temperatura* S (h) indica la collocazione temporale dell'apparire all'interno dell'abitazione delle condizioni peggiori del clima naturale esterno (minima temperatura notturna, d'inverno; massima insolazione, d'estate). Raggiungere valori di sfasamento di almeno 12 ore è importante soprattutto per determinare il comfort termico estivo e, come tale, ha importanti ripercussioni anche in termini di risparmio energetico. L'utilizzo di soluzioni massive e nel contempo dotate di buon isolamento termico comporta il raggiungimento di valori di sfasamento anche molto più elevati (per esempio > 20 ore - tab. 1b); essi, essendo ottenuti in concomitanza con valori molto bassi del fattore di attenuazione (per esempio 0,03 - tab. 1b), sono indice di un

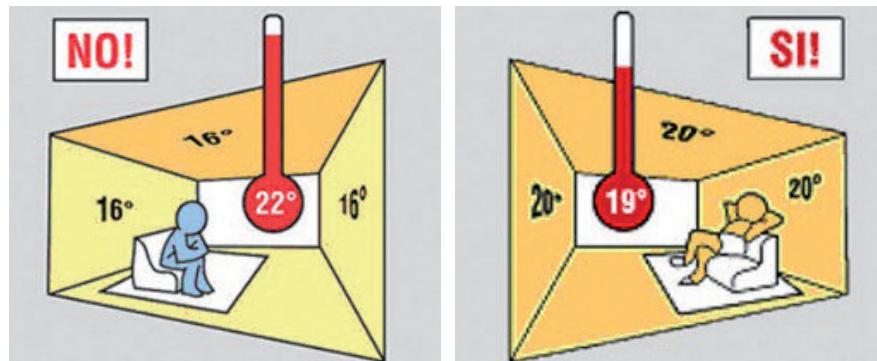


Fig. 2 - Condizione di discomfort (a sx) e di comfort (a dx).

comportamento inerziale ottimale della parete ed indicano che l'ambiente interno è poco o per nulla sensibile alle variazioni climatiche esterne, quanto meno nel breve periodo;

- lo *smorzamento dell'onda termica* o fattore di attenuazione f_a , è definito come il rapporto tra il valore dell'ampiezza dell'onda termica esterna e quello dell'ampiezza dell'onda termica interna all'ambiente abitativo, delineando, quindi, la possibilità di ridurre il dimensionamento dell'impianto termico di condizionamento estivo dell'abitazione. Valori buoni del fattore di attenuazione devono essere inferiori a 0,15, preferibilmente inferiori a 0,06 [tab. 1b].

4. Inerzia termica e comfort termo-igrometrico

Benché l'uomo possa adattarsi a diverse condizioni ambientali, non sempre prova una sensazione di *benessere*.

Si definisce *comfort* o *benessere ambientale* la particolare condizione di soddisfazione percepita dagli individui, derivante da vari contributi, dipendenti sia da fattori di natura soggettiva (esigenze abitative, fattore estetico, stile di vita, organizzazione degli spazi), che vengono affrontati dalla progettazione architettonica, sia da fattori di natura oggettiva, tra i quali

spicca il microclima, ossia il complesso dei parametri climatici degli ambienti confinati in grado di influenzare gli scambi termici soggetto-ambiente.

Lo stato psicofisico in cui il soggetto esprime soddisfazione nei riguardi del microclima si definisce *benessere termo-igrometrico*⁽⁶⁾, e corrisponde sostanzialmente ad uno stato di neutralità termica (l'individuo non ha né caldo né freddo).

Il calore prodotto dall'organismo per effetto del metabolismo deve essere pari al calore scambiato con l'esterno, senza richiedere un eccessivo impegno del sistema di termoregolazione corporea. Il calore prodotto dipende dall'attività svolta, dalla costituzione, dall'età, dal sesso, dallo stato di salute, ecc., mentre il calore ceduto dal corpo all'ambiente dipende dalla temperatura e dall'umidità dell'aria che circonda il corpo stesso, dal tipo di vestiario, dalla velocità dell'aria a contatto con la pelle e, in modo particolare, dall'irraggiamento (positivo o negativo) da superfici calde o verso superfici fredde [fig. 2].

Fin oltre la metà della quota di calore scambiata dal corpo umano è costituita dalla perdita di calore per irraggiamento termico con le superfici che delimitano l'ambiente stesso, le quali non sono necessariamente alla stessa *temperatura dell'aria* T_a ma sono caratterizzate da una temperatura superficiale media, la cosiddetta *temperatura media radiante* T_{mr} . La tem-

peratura media radiante è quella media delle superfici delle pareti che delimitano un ambiente abitato e scambiano calore per irraggiamento con le persone all'interno dell'ambiente stesso. Tale parametro può essere valutato, in prima approssimazione, come la media delle *temperature superficiali interne* delle pareti T_{si} pesata sulle *arie superficiali interne* delle stesse A_{si} :

$$T_{mr} = \frac{\sum T_{si,j} \cdot A_{si,j}}{\sum A_{si,j}} \quad (\text{°C})$$

In effetti, con questo approccio si individua la temperatura media radiante per una persona posta al centro dell'ambiente. In caso di posizione non centrale, la media pesata sulla superficie è solo una stima di prima approssimazione, in quanto bisognerebbe fare riferimento non alle aree superficiali delle pareti, ma agli *angoli solidi* ω sottesi dalle aree suddette e valutati a partire dalla posizione considerata, ovvero, più precisamente, ai *fattori di vista* F associati a tali angoli solidi:

$$T_{mr} = \frac{\sum T_{si,j} \cdot F_j(\omega_j)}{\sum F_j(\omega_j)} \quad (\text{°C})$$

dove il fattore di vista di una superficie rispetto ad un'altra si definisce come il rapporto tra la frazione dell'energia totale irradiata dalla prima che ricade

sulla seconda e l'energia totale irradiata.

La temperatura più rilevante ai fini del comfort termico è tuttavia la cosiddetta *temperatura operante* T_{op} , definita come la temperatura uniforme di una cavità nera in cui il soggetto scambierebbe lo stesso calore scambiato nell'ambiente reale, a temperatura disuniforme.

Tale parametro può essere stimato come la media pesata della temperatura dell'aria T_a e della temperatura media radiante delle pareti T_{mr} :

$$T_{op} = p \cdot T_a + (1-p) \cdot T_{mr} \quad (\text{°C})$$

Considerando che al peso p si può assegnare un valore dipendente dalla *velocità dell'aria* v :

- per $v \leq 0,2 \text{ m/s}$, $p=0,5$
- per $0,2 < v \leq 0,6 \text{ m/s}$, $p=0,6$
- per $0,6 < v \leq 1,0 \text{ m/s}$, $p=0,7$

ne deriva che per aria sostanzialmente ferma ($v \leq 0,2 \text{ m/s}$), la temperatura operante può essere approssimata dalla media aritmetica della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante:

$$T_{op} \cong \frac{T_a + T_{mr}}{2} \quad (\text{°C})$$

Il controllo della temperatura operante può essere effettuato in diversi modi, ad esempio assicurando un buon isolamento termico delle pareti ed avendo cura di evitare o correggere i ponti termici, progettando opportunamente la tipologia degli impianti di climatizzazione (per esempio con utilizzo di corpi scaldanti che privilegiano la trasmissione del calore tramite l'irraggiamento, come i sistemi di emissione a pavimento) ma, soprattutto, adottando strutture d'involucro "massive" in laterizio, in grado di fungere da volano termico limitando le oscillazioni di temperatura superficiale interna dovute al

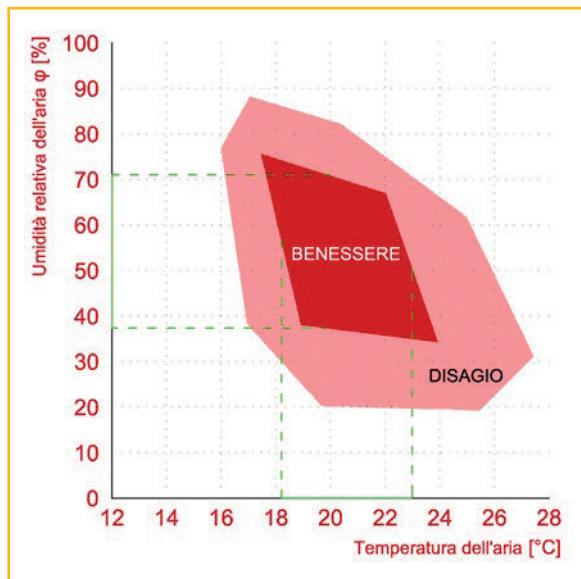


Fig. 3 - Diagramma del benessere termo-igrometrico, con individuazione delle condizioni di comfort e disagio, in relazione alla temperatura dell'aria (°C) e all'umidità relativa dell'aria (%).

normale funzionamento intermittente degli impianti.

A quanto visto finora si unisce l'incidenza del tasso di umidità sulle condizioni di comfort: affinché in un ambiente confinato si possa parlare di comfort termo-igrometrico, sia la temperatura che l'umidità devono mantenersi entro certi limiti [fig. 3].

Le due variabili sono infatti interdipendenti, nel senso che è possibile realizzare le condizioni di comfort termo-igrometrico intervenendo in modo opportuno anche solo su uno dei due fattori citati.

Ad esempio, con riferimento ai mesi estivi, valori elevati di umidità relativa inibiscono o comunque ostacolano lo smaltimento di calore per traspirazione ed obbligano, per evacuare efficacemente il calore corporeo, alla ventilazione delle superfici e/o al sottraggo-freddamento degli ambienti, con i rischi igienico-sanitari che ciò comporta e la sensazione di discomfort legata al ristagno di sudore. Riducendo anche la sola umidità mediante un deumidificatore, senza variare la temperatura è possibile raggiungere le condizioni di comfort: valori ridotti dell'umidità relativa consentono di smaltire efficacemente il calore corporeo anche a tem-

perature elevate. Nei mesi invernali avviene l'opposto, se l'aria è più secca si avrà una maggiore sensazione di freddo, rispetto, all'aria più umida avente la stessa temperatura. Ciò avviene perché se l'aria è molto secca, la traspirazione cutanea viene favorita e ne consegue una relativa, maggiore sottrazione di calore evaporativo sulla pelle, con abbassamento della temperatura, dalla quale deriva la sensazione di freddo.

L'umidità dell'aria interna è influenzata dalle abituali attività domestiche e può essere smaltita efficacemente solo grazie alla ventilazione degli ambienti, naturale o meccanica. Una parte di essa può comunque diffondersi all'interno dei componenti dell'involucro edilizio. Infatti, se si considera la "diffusione" del vapore nella parete, è possibile parlare di pareti permeabili al vapore o diffuse al vapore. Il fattore importante delle costruzioni massive in laterizio è un'ottimale diffusività dall'interno verso l'esterno della stratigrafia, tale da far diffondere liberamente il vapore all'interno della parete stessa in caso di aumento di umidità nell'ambiente, seguendo l'andamento della pressione di vapore. La muratura in laterizio è, quindi, in grado

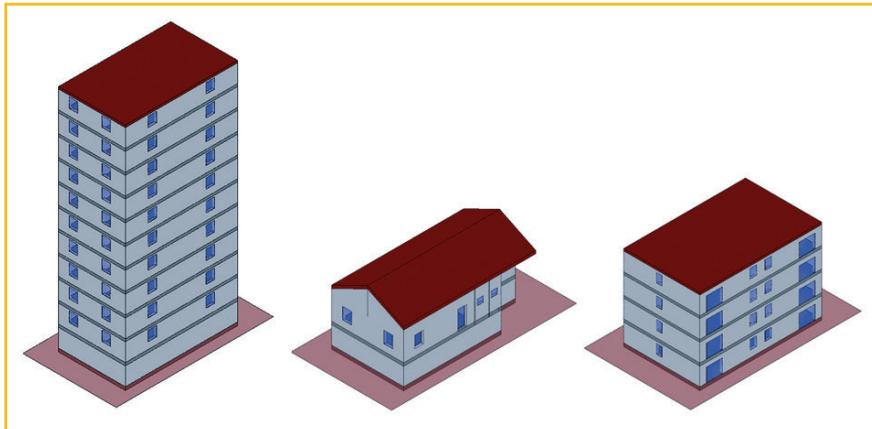


Fig. 4 - Gli edifici a diverso S/V posti a confronto. Da sinistra: edificio a torre, villetta, condominio.

[Fonte: ricerca dell'Università Politecnica delle Marche⁽⁸⁾⁽⁹⁾]

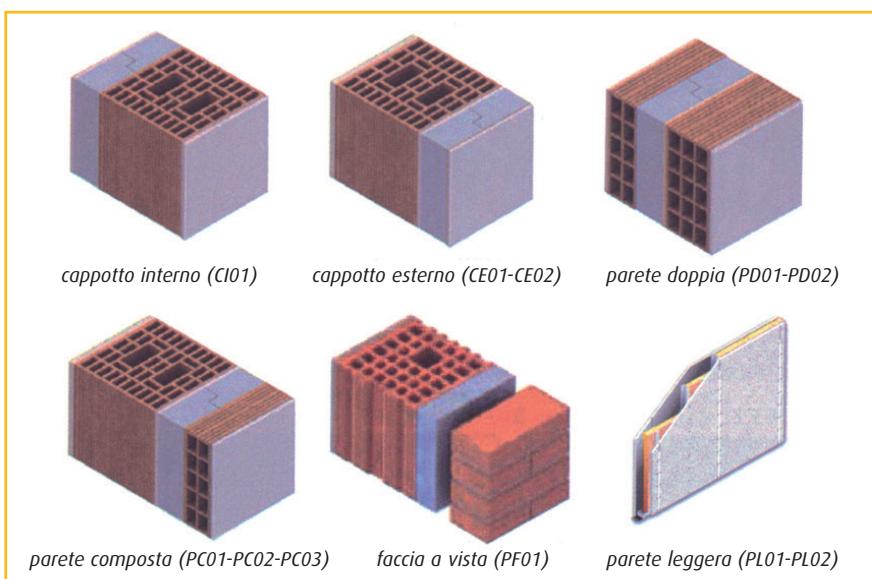


Fig. 5 - Definizione delle strutture d'involucro verticale opaco analizzate. [Fonte: ricerca dell'Università Politecnica delle Marche⁽⁸⁾⁽⁹⁾].

di esplicare un importante effetto di regolazione igrometrica naturale nei confronti dell'umidità interna, agevolandone la diffusione verso l'esterno o rilasciandola nell'ambiente interno in funzione delle condizioni che si instaurano nell'ambiente abitativo stesso ("effetto spugna"), processo che non viene sostanzialmente modificato da eventuali interventi di coibentazione esterna se realizzati a regola d'arte.

5. Inerzia termica e risparmio energetico

La "massa capacitiva" della parete, oltre a giocare un ruolo rilevante per il contenimento dei consumi energetici estivi degli edifici, fornisce un impor-

tante contributo per il risparmio energetico anche nella stagione invernale. Questi vantaggi, concreti e reali, sono stati evidenziati da diverse analisi e ricerche svolte a livello universitario (Politecnico di Milano⁽⁷⁾, Università Politecnica delle Marche⁽⁸⁾⁽⁹⁾, Università degli Studi di Catania⁽¹⁰⁾), per un approfondimento delle quali si rimanda ai pertinenti riferimenti bibliografici. Si riportano in questo articolo alcuni cenni sui risultati emersi dalle ricerche condotte presso i Dipartimenti di Ingegneria Civile, Edile e dell'Architettura e di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche⁽⁸⁾⁽⁹⁾.

Il lavoro è stato svolto analizzando in corrispondenza di differenti località cli-

matiche (Torino - zona climatica E, Ancona - zona climatica D e Palermo - zona climatica B) il comportamento termico di diverse tipologie di edifici residenziali rappresentative dell'edilizia nazionale [fig. 4], caratterizzate da differenti valori del rapporto di forma S/V e da diverse stratigrafie d'involucro verticale opaco [fig. 5], che, a parità di trasmittanza termica stazionaria in ciascuna delle tre zone climatiche prese in considerazione, presentano valori molto diversificati di trasmittanza termica periodica.

Si riporta di seguito, a titolo esemplificativo, una sintesi dei risultati delle simulazioni per il calcolo dei fabbisogni invernali, svolte sull'edificio tipo "condominio", riferite al confronto tra

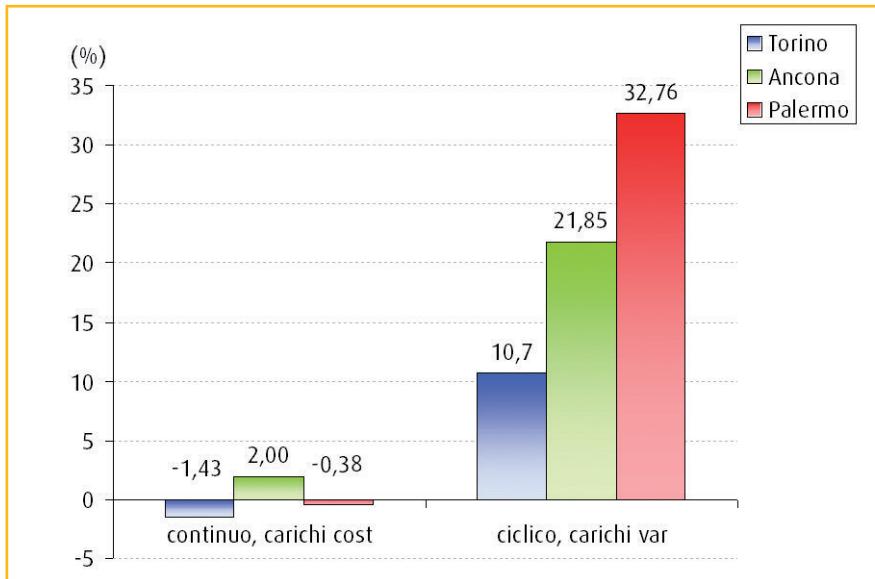


Fig. 6 - Incremento percentuale dei consumi per il riscaldamento invernale di edifici con struttura leggera rispetto a quelli con struttura massiva, in funzione delle ore di accensione dell'impianto e dei carichi interni, per l'edificio condominio posto a Palermo, Ancona, Torino. [Fonte: ricerca dell'Università Politecnica delle Marche⁽⁸⁾⁽⁹⁾].

due stratigrafie d'involucro aventi caratteristiche inerziali contrapposte (parete massiva in blocchi porizzati di spessore 30 cm con cappotto esterno, parete leggera in legno), simulazioni eseguite sia tramite il metodo di calcolo semi-stazionario basato sulle UNI/TS 11300 (continuo, carichi cost - fig. 6) sia con metodo di analisi di tipo "dinamico" (ciclico, carichi var - fig. 6), apportando quindi variazioni parametriche relative all'utilizzo dell'impianto in fase invernale (continuo, ciclico-intermittente) ed ai carichi interni (costanti, variabili). In altre parole, si sono considerate prima le impostazioni da Certificazione Energetica degli edifici (variando il periodo di esercizio dell'impianto di riscaldamento a seconda della zona climatica, secondo il DPR 412/93, e mantenendo i carichi interni costanti), e poi quelle adattate all'utenza secondo UNI/TS 11300, ipotizzando inizialmente un funzionamento ciclico dell'impianto termico e, successivamente, anche la variabilità dei carichi termici interni.

Inoltre, per rendere confrontabili i fabbisogni termici derivanti dall'impiego della soluzione d'involucro massiva e di quella leggera, a parità di comfort interno, si è provveduto a "normalizza-

re" i fabbisogni moltiplicandoli per i "gradi giorno di comfort", ovvero per la differenza oraria ($20 - T_{op}$) °C, dove 20 °C è la temperatura interna di comfort e T_{op} rappresenta la temperatura operante interna all'ambiente.

È immediato rilevare che mentre il metodo di calcolo semi-stazionario della prestazione energetica degli edifici basato sulle UNI/TS 11300, non consente di cogliere gli aspetti inerziali legati all'involucro edilizio, l'utilizzo di strumenti di calcolo "dinamici", seppure con impostazioni semistazionarie, dà luogo ad una evidente variazione dei fabbisogni energetici invernali tra le strutture inerziali e le strutture leggere. Ad esempio, con riferimento al grafico di fig. 6, per il condominio posto nella località di Ancona, la differenza percentuale tra i fabbisogni invernali dell'edificio con struttura leggera e quelli dell'edificio con struttura massiva è risultata del tutto trascurabile e pari al 2%, in caso di metodo di calcolo semi-stazionario (funzionamento continuo dell'impianto, carichi interni costanti); diversamente, con metodo di calcolo "dinamico" (funzionamento ciclico dell'impianto, carichi interni variabili) l'incremento percentuale dei consumi invernali per l'edifi-

cio con struttura leggera rispetto a quello con struttura massiva è quasi del 22%.

Si evince dunque l'importanza che l'inerzia termica dell'involucro riveste anche in fase invernale, che si quantifica in un consistente risparmio energetico, qualora si analizzi l'edificio considerando un funzionamento ciclico-intermittente dell'impianto di riscaldamento e la variabilità dei carichi termici interni. Condizioni queste, che si avvicinano maggiormente alla reale modalità di conduzione ed uso degli edifici, rispetto alle condizioni convenzionali imposte nei metodi di calcolo semi-stazionari.

Infine, come evidenziato in fig. 6, l'apporto concreto dell'inerzia termica al risparmio energetico, di per sé già significativo e tutt'altro che trascurabile nelle zone più fredde d'Italia (zona climatica E) si accresce ulteriormente nelle zone climatiche meno fredde.

6. Conclusioni

È illogico pensare che proprio in un Paese come l'Italia, nel quale le condizioni climatiche conducono ad un eccessivo e sempre più massiccio ricorso alla climatizzazione estiva, la scelta

di soluzioni costruttive inerziali dipenda sostanzialmente dalla volontà, competenza e sensibilità del tecnico progettista.

Si attendono per il futuro importanti cambiamenti⁽¹¹⁾ da questo punto di vista, cambiamenti che sono già stati avviati a partire dall'inizio dell'anno, quando sono state recepite e rese disponibili, a catalogo UNI, le nuove norme EN a supporto della Direttiva EPBD, che la Commissione Europea ha voluto allo scopo di fornire agli Stati Membri strumenti di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici più aderenti alla realtà in quanto basati sul metodo di calcolo dinamico, sia per il riscaldamento che per il raffrescamento, che andranno a sostituire le attuali UNI/TS 11300. L'applicabilità a livello nazionale, tuttavia, non sarà a breve termine ed avverrà a seguito della predisposizione delle appendici nazionali delle nuove norme, oltre che dello sviluppo di moduli aggiuntivi o sostitutivi ad alcune di esse, finalizzati principalmente a risolverne specifiche criticità o lacune.

Nel frattempo sarà ancora un compito importante del progettista valutare ed operare la scelta delle soluzioni costruttive ottimali per conseguire contemporaneamente risparmio energetico e comfort abitativo, avendo attenzione a rispettare, come requisito minimo per avere un comportamento inerziale di base, i parametri precedentemente illustrati e quantificati.

Le soluzioni più semplici per le strutture opache verticali dell'involtucro edilizio sono quelle che, nel rispetto delle trasmittanze U di riferimento previste dalle vigenti norme in materia⁽²⁾, hanno massa superficiale M_s più elevata (in ogni caso, non inferiore a 230 kg/m²); in queste condizioni tutti i parametri indicatori del comportamento inerziale della parete possono raggiungere valori ottimali.

Bibliografia

1. Bari L., Fabi E., Mosele F. "Risparmio energetico e classificazione energetica: risultati di analisi su edificio condominiale ed influenza degli elementi d'involtucro", Murature Oggi n. 124 (2/2017).
2. D.M. 26/06/2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".
3. D.M. 26/06/2015 "Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".
4. Bari L. "Prestazioni energetiche degli edifici: prescrizioni e requisiti in relazione ai nuovi decreti" Murature Oggi n. 119, Novembre 2015.
5. Fabi E., Mosele F. Bari L. "Risparmio energetico e classificazione energetica: risultati di analisi su edifici-tipo ed influenza degli elementi d'involtucro" Murature Oggi n. 123, Marzo 2017.
6. UNI EN ISO 7730:2006 "Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale".
7. Ferrari S. "Procedure di calcolo semplificate e valutazioni dinamiche", Murature Oggi n. 110 (1/2012).
8. Di Giuseppe E., Fantini L., D'Orazio M., Di Perna C. "Un indice di comfort abitativo nel certificato energetico", Murature Oggi n. 112 (2/2013).
9. Di Perna C., Fantini L. "La casa NZEB: una proposta per il clima mediterraneo", Murature Oggi n. 118 (2/2015).
10. Evola G., Marletta L. "Prestazioni energetiche di pareti in laterizio in clima mediterraneo", Murature Oggi n. 113 (3/2013).
11. Bari L. "Efficienza energetica degli edifici: la nuova norma EN ISO 52016 per il calcolo in regime dinamico", Murature Oggi n. 126 (1/2018).