

# Massa e comfort: necessità di una adeguata capacità termica areica interna periodica

**Attraverso monitoraggi e analisi parametriche di un caso di studio, si dimostra l'importanza dell'inerzia termica interna dell'involucro in estate, soprattutto in presenza di elevati carichi interni. Si presenta la proposta di un limite inferiore della capacità termica areica interna periodica, da introdurre nei decreti attuativi del D.Lgs. 311/06**

## La situazione attuale: D. Lgs. 311/06 e sue conseguenze

Come noto, il D.Lgs. 311/06 si concentra essenzialmente sul risparmio energetico in fase invernale, limitando sia i valori di trasmittanza termica dell'involucro esterno  $U$  che il fabbisogno di energia primaria dell'edificio.

Il comfort termico in fase estiva viene considerato semplicemente introducendo un limite inferiore di massa superficiale  $M_s$  pari a  $230 \text{ kg/m}^2$  nelle località più soleggiate (in cui  $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$ , lettera b del comma 9, dell'allegato I).

Si rendono così accettabili tutta una serie di pareti con diversa posizione reciproca tra isolante termico e massa (pareti a cappotto, a cassetta e con isolante sul lato interno), alcune delle quali presentano grossi problemi riguardo al surriscaldamento estivo e alla verifica igrometrica. Inoltre, in certe situazioni (dove non è obbligatoria la verifica di massa superficiale) è consentito raggiungere le trasmittanze fissate usando solo materiali leggeri e coibenti.

**La trasmittanza termica periodica** Attualmente, in attesa dell'emanazione delle "linee guida" per la certificazione energetica degli edifici, è in discussione ed analisi una proposta di modifica del D.Lgs. 311/06 la quale prevede che, per ridurre il fabbisogno energetico estivo, venga eliminato il limite di  $230 \text{ kg/m}^2$  sulla massa superficiale dell'involucro, sostituendolo, sempre per le località più soleggiate, con un limite sulla trasmittanza termica periodica  $Y_{ie} = fd \cdot U \text{ [W/m}^2\text{K]}$  pari a 0,12 per le pareti opache verticali, orizzontali o inclinate (con  $fd$  "fattore di attenuazione").

Il testo della lettera b), del comma 9, dell'allegato I, al D.Lgs. 311/06 verrebbe così sostituito dal seguente:

*"Verifica, in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale, nel mese*

*di massima insolazione estiva,  $I_{m,s}$ , sia maggiore o uguale a  $290 \text{ W/m}^2$ , che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$  delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate, di cui al comma 11 dell'allegato 1, sia inferiore a  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ".*

Limitare il prodotto tra il fattore di attenuazione ( $fd$ ) e la trasmittanza termica stazionaria ( $U$ ), eliminando anche il limite di massa superficiale, determinerebbe in tal modo la possibilità di realizzare pareti con bassa inerzia termica ed elevata capacità coibente e, all'estremo, strutture realizzate interamente con materiale isolante.

## Importanza del comfort e dei carichi interni in fase estiva

Da studi effettuati con monitoraggi e simulazioni di edifici campione è risultata verificata l'efficacia dell'approccio con la trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$  per ottimizzare il risparmio energetico nella climatizzazione di un edificio. Riconducendo il problema estivo essenzialmente ai flussi entranti dall'esterno (irraggiamento solare e trasmissione conduttiva delle pareti esterne), al fine di ridurre il contributo dei carichi esterni, la limitazione della  $Y_{ie}$ , in effetti, presenta una sua validità.

Tuttavia, è risultato che, laddove vengano considerati anche i carichi interni, l'uso di un involucro leggero e fortemente coibente è controindicato, non tanto dal punto di vista del risparmio energetico, ma soprattutto dal punto di vista del comfort abitativo.

**La capacità termica areica interna periodica ( $C_{ip}$ )** Per risolvere tali problemi, si è provato ad introdurre, congiuntamente ai limiti sulla trasmittanza termica stazionaria e trasmittanza termica periodica (che tengono conto di *carichi esterni, sfasamento termico e fattore di attenuazione*), un limite che consideri anche i *carichi interni*, e più precisamente la *capacità termica areica interna periodica* ( $C_{ip}$ ).



Fig. 1 - La scuola assunta come caso di studio (vista sud).

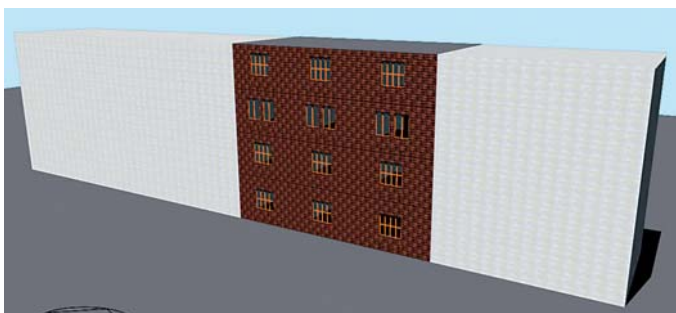


Fig. 2 - Il caso di studio simulato con il software Energyplus.

**Comprendere la validità di  $C_{ip}$**  È stato assunto un caso di studio reale, caratterizzato dalla presenza di elevati carichi interni – l'Istituto di Istruzione Superiore “A. Einstein, A. Nebbia” di Loreto (AN) (fig. 1) sul quale sono stati effettuati monitoraggi, simulazioni in regime dinamico con il software Energyplus, messa a punto di modelli virtuali e analisi parametriche.

Queste ultime sono state effettuate su un “trancio” dell'edificio, sezionato in corrispondenza di un'aula, da cielo a terra, e sono stati analizzati flussi e temperature superficiali (fig. 2).

Le variazioni parametriche applicate al sistema hanno riguardato le condizioni climatiche esterne, la destinazione d'uso, i carichi interni, la tipologia di involucro esterno, la percentuale di superficie vetrata e l'utilizzo o meno di ventilazione naturale.

In particolare, sono state studiate 3 zone climatiche (Palermo, Ancona e Bolzano), 2 tipologie d'uso (scuola e residenza), vari livelli di carico interno. Inoltre, sono state analizzate 4 percentuali di superficie vetrata, corrispondenti a 1/8, 1/6, 1/4, 1/3 della superficie calpestabile. Infine, sono state simulate due modalità di uso degli ambienti interni: una corrispondente ad un uso tradizionale, con un'apertura giornaliera delle finestre per il ricambio d'aria (definita nei grafici come “ventilazione diurna”); l'altra caratterizzata da una ventilazione notturna dalle 20 alle 7 del mattino, con ricambi d'aria variabili tra 2 e 4 vol/h. I casi di studio ottenuti sono stati analizzati dal punto di vista del comfort e dei consumi inserendo 5 tipologie diverse di parete esterna e 5 tipologie di copertura.

All'interno del “trancio”, lo studio si è concentrato su:

- un'aula del terzo piano (cioè ad un piano intermedio), variando la tipologia del solo involucro esterno (pareti da P1 a P5, pareti reali R1 ÷ R7);

- un'aula all'ultimo piano (cioè ad un piano sottotetto), variando la tipologia costruttiva: l'involucro esterno (pareti P1 e P5), la copertura (tetti da T1 a T5) e il solaio interpiano. Con diverse combinazioni di queste strutture, si è analizzato un edificio ad alta inerzia, uno di tipo misto ed uno leggero.

**Tipi di componenti edilizi studiati** Sono state elaborate 5 tipologie di pareti fittizie caratterizzate da determinati limiti per trasmittanza termica stazionaria e periodica ( $U \leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  per Ancona al 2008;  $Y_{ie} \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). In particolare, le tipologie sono state elaborate a parità di  $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , aumentando di volta in volta lo spessore dell'isolante e diminuendo lo spessore di massa inerziale della struttura verticale dell'involucro (mattoni pieni) in modo da mantenere costante il valore fissato di  $Y_{ie}$  (fig. 3).

Inoltre, sono stati simulati 5 sistemi di copertura con diversa posizione di isolante e massa (fig. 4).

**I risultati ottenuti** Fissare il parametro di trasmittanza termica periodica ad un valore basso ( $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) si è dimostrato ottimale per ridurre al massimo l'ingresso dei carichi termici dall'esterno, e può sostituire le condizioni sullo sfasamento e sul fattore di attenuazione del flusso termico che giunge all'interno.

#### *Fase invernale*

Se si considerano le 5 tipologie di pareti prese in esame, a parità di trasmittanza termica periodica, e si confrontano le temperature superficiali interne a sud, si nota chiaramente come sia solo la  $U$  a condizionarne fortemente il comportamento. Le pareti che si comportano meglio sono infatti quelle con bassi valori di trasmittanza termica stazionaria.

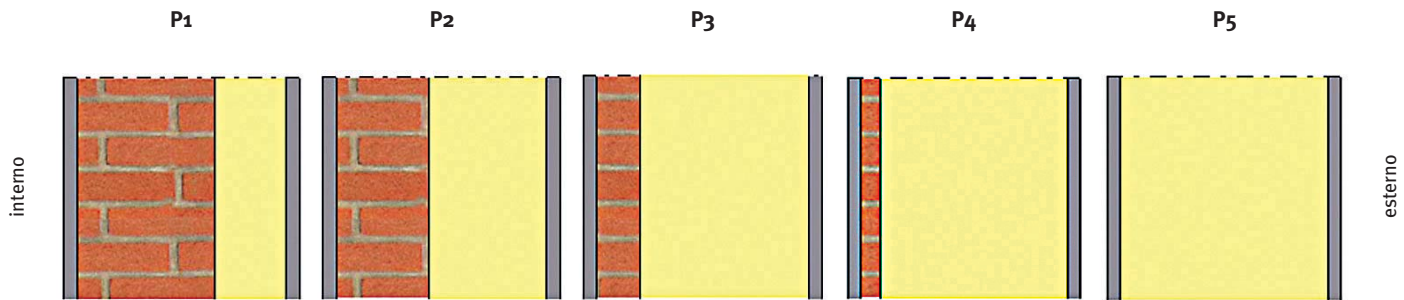
Per l'edificio scolastico è stata ottenuta la tabella I, dove è evidente come le temperature superficiali interne diminuiscano notevolmente all'aumentare della trasmittanza termica  $U$ : dalla parete P5 (con  $U = 0,135 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) alla parete P1 (con  $U = 0,392 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

La stessa cosa accade per l'edificio residenziale (tab. II), in cui la parete P5 (costituita da solo coibente) registra temperature superficiali superiori di circa  $2^\circ\text{C}$  rispetto a P1 (la parete con inerzia interna più elevata).

#### *Fase estiva senza carichi interni*

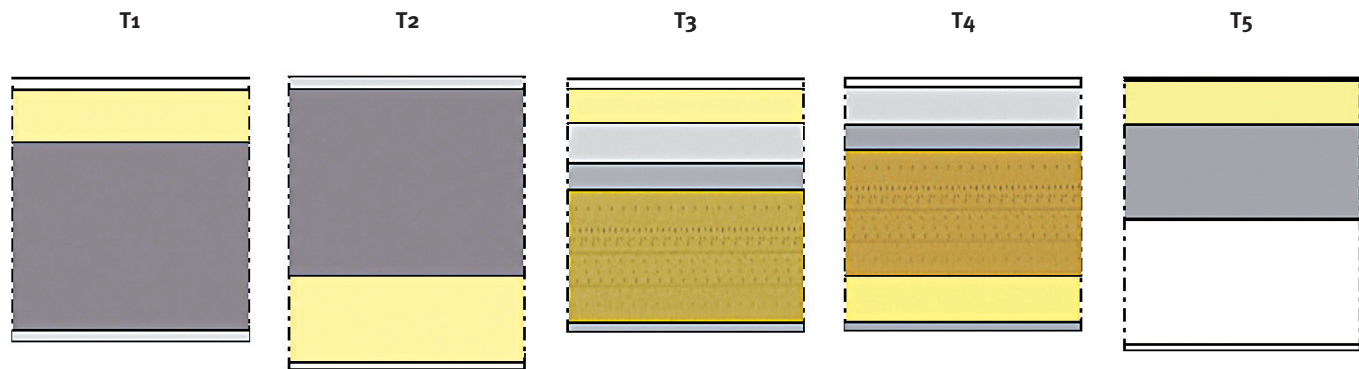
Se si considerano le 5 tipologie di pareti, a parità di trasmittanza periodica, e si confrontano le temperature superficiali interne a sud in una condizione senza carichi interni (persone, luci, ecc.) e a finestre chiuse di giorno, non si rilevano notevoli differenze tra il comportamento delle diverse pareti prese in esame.

Per l'edificio scolastico è stata ottenuta la tabella III, dove si nota chiaramente un comportamento analogo tra le diverse tipologie di pareti. Ciò dimostra che, in assenza di carichi interni, pareti a diversa inerzia e a parità di  $Y_{ie}$  si comportano in modo analogo, confermando così l'efficacia del parametro  $Y_{ie}$  per attenuare i carichi termici esterni.



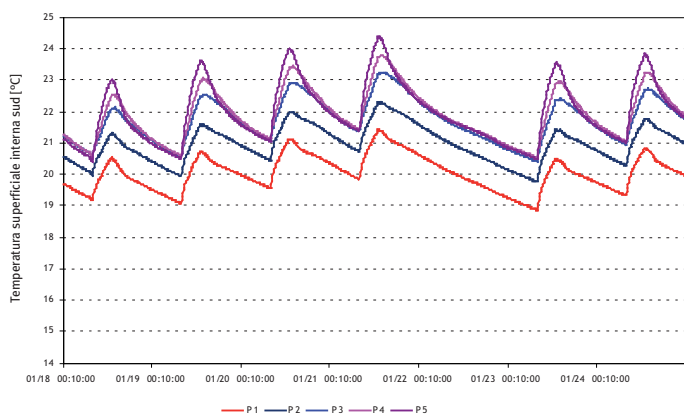
sp. = 26,2 cm	sp. = 26,1 cm	sp. = 28,1 cm	sp. = 29,4 cm	sp. = 29,5 cm
fd = 0,25	fd = 0,38	fd = 0,57	fd = 0,67	fd = 0,74
$\varphi$ = 8,0 ore	$\varphi$ = 7,1 ore	$\varphi$ = 6,7 ore	$\varphi$ = 6,5 ore	$\varphi$ = 5,8 ore
$Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
$U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
$M_s = 320,7 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 237,4 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 154,9 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 113,7 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 72,1 \text{ kg/m}^2$
$C_{ip} = 151,7 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 150,5 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 107,1 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 71,0 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 31,9 \text{ kJ/m}^2\text{K}$

3. Cinque tipologie di pareti poste a confronto.

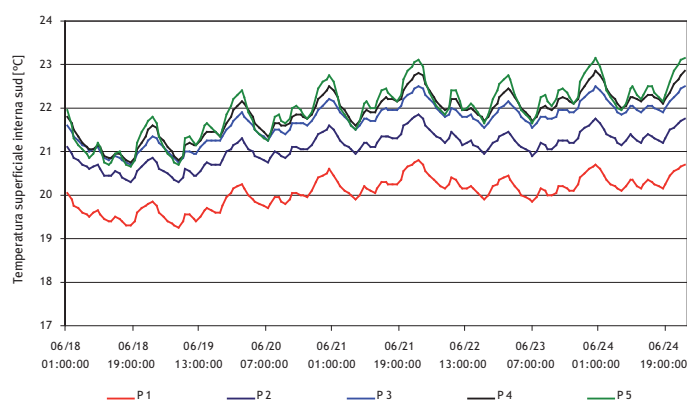


sp. = 33,7 cm	sp. = 37,4 cm	sp. = 38,2 cm	sp. = 40,4 cm	sp. = 43,6 cm
fd = 0,13	fd = 0,20	fd = 0,12	fd = 0,16	fd = 0,13
$\varphi$ = 9,6 ore	$\varphi$ = 9,7 ore	$\varphi$ = 10,9 ore	$\varphi$ = 11,4 ore	$\varphi$ = 7,3 ore
$Y_{ie} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$	$Y_{ie} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$
$U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
$M_s = 664,1 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 647,8 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 415,58 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 416,46 \text{ kg/m}^2$	$M_s = 369,40 \text{ kg/m}^2$
$C_{ip} = 228,5 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 13,1 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 91,6 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 29,9 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C_{ip} = 57,4 \text{ kJ/m}^2\text{K}$
Piastrelle in ceramica, sp. = 0,015 m	Piastrelle in ceramica, sp. = 0,015 m	Piastrelle in cemento, sp. = 0,015 m	Piastrelle in cemento, sp. = 0,015 m	Impermeabilizzante, sp. = 0,005 m
Isolante, sp. = 0,067 m	Soletta in c.a. sp. = 0,24 m	Isolante, sp. = 0,052 m	Massetto pendenze, sp. = 0,06	Isolante, sp. = 0,07 m
Soletta in c.a. sp. = 0,24 m	Isolante, sp. = 0,109 m	Massetto pendenze, sp. = 0,06	Caldana, sp. = 0,04 m	Caldana, sp. = 0,15 m
Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Cartongesso, sp. = 0,010 m	Caldana, sp. = 0,04 m	Pignatta + travetto, sp. 0,20 m	Lamiera grecata acciaio, sp. 0,001 m
		Pignatta + travetto, sp. 0,20 m	Isolante, sp. = 0,074 m	Intercapedine aria, sp. = 0,20 m
		Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Cartongesso, sp. = 0,010 m

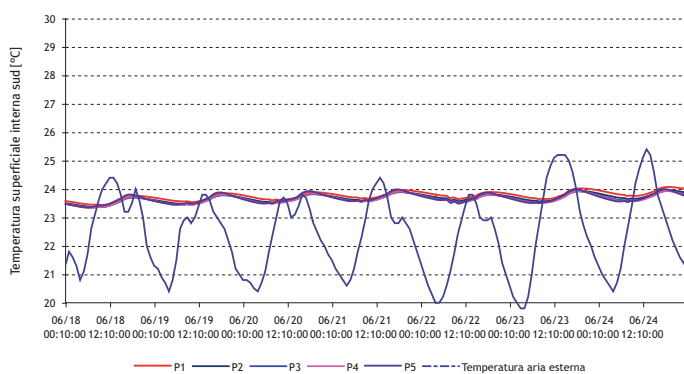
4. Cinque tipologie di coperture poste a confronto.



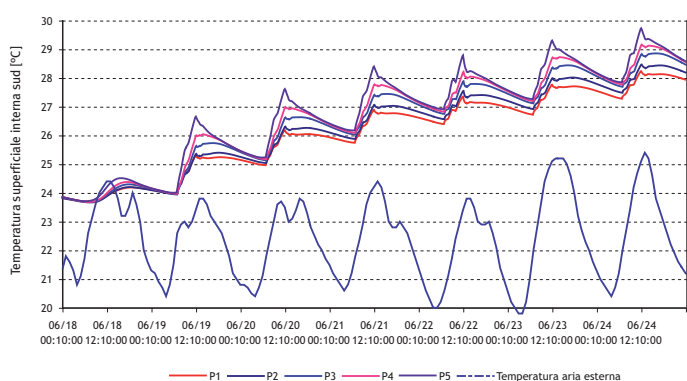
Tab. I - Temperature superficiali interne delle 5 pareti per 1 settimana invernale (18-24 gennaio) nell'edificio scolastico.



Tab. II - Temperature superficiali interne delle 5 pareti per 1 settimana invernale (18-24 gennaio) nell'edificio residenziale.



Tab. III - Temperature superficiali interne delle 5 pareti per 1 settimana estiva (18-24 giugno) nell'edificio scolastico in assenza di carichi interni.



Tab. IV - Temperature superficiali interne delle 5 pareti per 1 settimana estiva (18-24 giugno) nell'edificio scolastico in presenza di carichi interni.

### Comfort e carichi interni: emerge la necessità di inerzia termica interna

Ridotta fortemente l'incidenza dei carichi esterni fissando la  $Y_{ie}$ , è necessario valutare anche l'incidenza, nel periodo estivo, dei carichi interni (persone, elettrodomestici, radiazione diffusa in ingresso dalle superfici vetrate) e ragionare non più solo in termini di risparmio energetico ma anche in termini di *comfort* (temperature superficiali, temperature operative, asimmetria radiante).

#### Fase estiva con carichi interni

La scelta di una struttura a bassa inerzia e fortemente coibente (P5) determina, in relazione all'introduzione dei carichi interni, oscillazioni maggiori delle temperature interne, temperature superficiali più elevate e di conseguenza temperature operanti più alte.

Una soluzione di questo tipo è, dunque, sfavorita dal punto di vista del comfort. Ciò si nota chiaramente dalla tabella IV che rappresenta l'andamento delle temperature superficiali interne delle 5 pareti studiate per il caso dell'edificio scolastico (elevati carichi interni).

I valori registrati dalla parete P5, costituita da solo coibente, sono superiori rispetto alle altre pareti e presentano fluttuazioni elevate. Lo stesso fenomeno si riscontra nel caso dell'edificio residenziale in cui la parete P5, costituita da solo coibente, registra temperature di quasi 1°C superiori rispetto ad una parete ad elevata inerzia (P1).

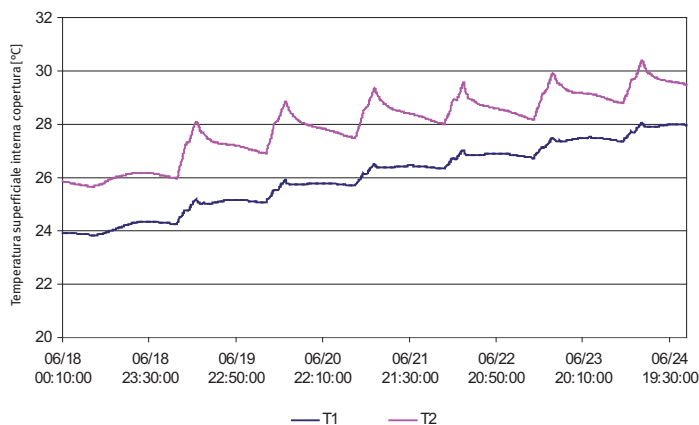
### Incidenza della copertura sul comfort

La copertura influenza fortemente il comfort, soprattutto in fase estiva. Il confronto tra una copertura isolata sul lato interno (T2) e una copertura isolata sul lato esterno (T1), a parità di trasmittanza termica periodica e con un involucro di tipo "pesante" (parete P1), evidenzia come sia importante, dal punto di vista del comfort, avere la massa sul lato interno della copertura.

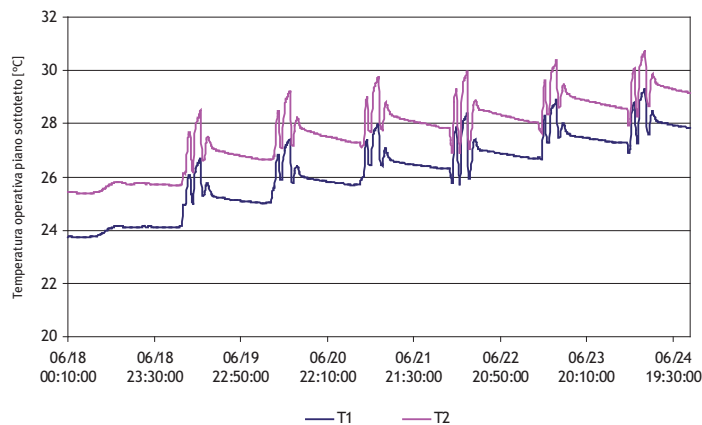
Dalle tabelle V e VI è possibile confrontare le due coperture in termini di temperature superficiali e temperature operanti.

### Introdurre nelle valutazioni la capacità termica areica periodica interna

Partendo dalla considerazione che, per valutare la trasmittanza termica periodica, bisogna effettuare il calcolo basato sulla risoluzione della conduzione termica in componenti edilizi composti da diversi strati piani, paralleli, omogenei, con condizioni al contorno sinusoidali regolari e un flusso termico monodimensionale, descritto dalla ISO 13786:2007, si ritiene opportuno proporre un ulteriore elemento di valutazione, ovvero un parametro ottenibile dal medesimo calcolo senza oneri aggiuntivi: la capacità termica areica periodica interna  $C_{ip}$  (ISO 13786). Tale parametro, funzione della profondità di penetrazione dell'onda termica, descrive la capacità effettiva di accumulo del calore sul



Tab. V - Temperature superficiali interne delle 2 coperture per 1 settimana estiva (18-24 giugno) nell'edificio scolastico.



Tab. VI - Temperature operative del piano sottotetto per le 2 coperture per 1 settimana estiva (18-24 giugno) nell'edificio scolastico.

lato interno di un componente edilizio e rappresenta lo spessore della massa termica interna che effettivamente contribuisce, in estate, a ridurre le temperature superficiali interne e attenuare la temperatura operante.

Una parete che ha un alto potenziale di accumulo sul lato interno avrà un valore  $C_{ip}$  elevato (tab. VII): come indicato nelle tabelle citate in precedenza, le pareti ottimali dal punto di vista del comfort (P1 e P2) sono proprio quelle con capacità termica areica periodica interna più elevata.

Poichè il parametro  $C_{ip}$  fornisce un'indicazione della capacità di accumulo della parete sul lato interno, in estate tanto maggiori sono i carichi interni (ad esempio, un'aula scolastica affollata) tanto più importante sarà fissare un valore alto di tale parametro.

### Inerzia termica all'interno o sull'involucro esterno? È

bene sottolineare che la scelta di aumentare l'inerzia termica delle strutture interne non è risolutiva dal punto di vista del comfort. L'incremento dell'inerzia di solai e pareti interne non modifica sensibilmente la temperatura superficiale delle relative strutture, ovvero non modifica la temperatura operante.

È l'involucro esterno ad influenzare fortemente la temperatura operante in relazione ai carichi interni e dunque a garantire, o meno, il comfort abitativo.

Per avere una conferma di quanto sopra:

- si è effettuata una simulazione in estate mantenendo fissa l'inerzia termica delle partizioni interne (di tipo pesante) e diminuendo l'inerzia dell'involucro da P1 a P5: si è registrato un aumento delle temperature operanti;
- si è effettuata, successivamente, una seconda simulazione mantenendo fissa l'inerzia termica dell'involucro (di tipo pesante P1) e diminuendo l'inerzia dei divisori interni, da pesanti (forati da 15 cm intonacati su entrambi i lati) a leggeri (isolante sp. = 10 cm rivestito con pannelli in cartongesso): la variazione delle temperature operanti è risultata trascurabile.

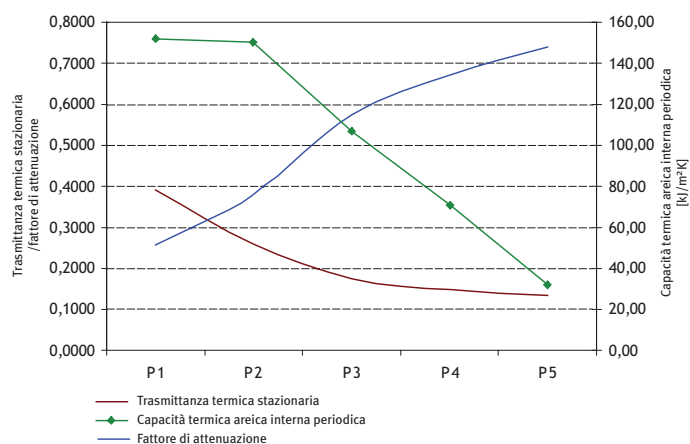
Ciò dimostra come sia più importante intervenire sull'inerzia dell'involucro esterno piuttosto che su quella delle strutture interne.

**Incidenza della percentuale finestrata** La percentuale finestrata incide molto sul comfort interno e sulle temperature superficiali interne dell'involucro esterno.

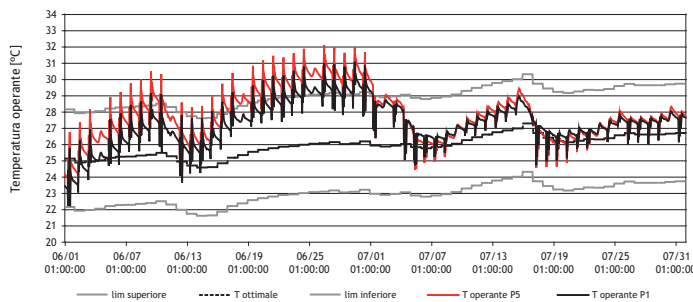
Ponendo a confronto un involucro esterno ad alta inerzia (parete P1, tetto T3) con uno a bassa inerzia (parete P5, tetto T4), si nota come adottando un valore basso di percentuale vetrata, pari cioè a 1/8 della superficie calpestabile, le temperature superficiali interne sulla parete P1 siano mediamente più basse di circa 1°C rispetto a quelle registrate sulla parete P5 e presentano escursioni termiche giornaliere minori. L'aumento della percentuale vetrata fino ad 1/3 della superficie di pavimento determina un innalzamento delle temperature superficiali per entrambe le pareti e una notevole escursione termica giornaliera per la parete di tipo leggero.

Analogo comportamento si è rilevato per quanto concerne le temperature superficiali interne in copertura.

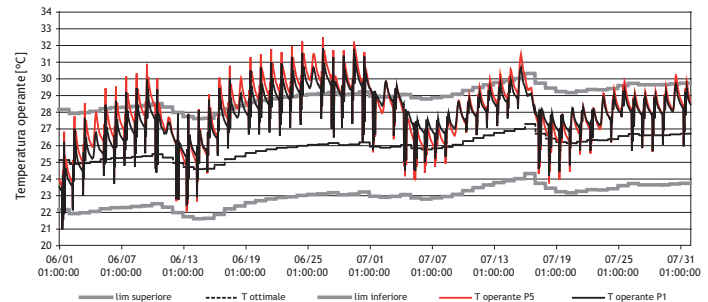
Le pareti P1 e P5 sono state confrontate dal punto di vista del comfort interno riportando i valori di temperatura operante registrati nei due casi e confrontandoli con i limiti di comfort individuati secondo la EN 15251:2007. La verifica è stata effettuata per i due valori di superficie finestrata selezionati.



Tab. VII - Trasmittanza termica stazionaria, fattore di attenuazione e capacità termica areica interna periodica per le 5 pareti studiate [ $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ].



Ore di *discomfort* per surriscaldamento:  
P1 = 7%; P5 = 25%



Ore di *discomfort* per surriscaldamento:  
P1 = 20%; P5 = 35%

Tabb. VIII e IX - Temperature operanti registrate nei due casi (edificio con parete P1 e con parete P5) con superficie vetrata pari a 1/8 (a sinistra) e a 1/3 (a destra) della superficie calpestabile (scuola, ventilazione diurna).

La parete ad elevata inerzia P1 presenta un numero di ore di *discomfort* inferiore rispetto alla parete leggera P5 (tab.VIII). In particolare, le ore di *discomfort* dovute al surriscaldamento dell'ambiente interno sono del 7% nel primo caso e del 25% nel secondo caso. L'aumento della percentuale vetrata (tab. IX) determina un aumento delle ore di *discomfort* dovute al surriscaldamento interno per entrambe le pareti: fino al 20% per la parete ad elevata inerzia e fino al 35% per quella leggera. È importante, dunque, che la superficie opaca presenti una significativa inerzia (coefficiente  $C_{ip}$  elevato) poiché, pur con effetto ridotto all'aumentare della percentuale finestrata, incide notevolmente sul livello di comfort interno.

**Incidenza della ventilazione naturale** Un ulteriore parametro che incide notevolmente sul comportamento dell'involucro esterno è la ventilazione naturale. Per analizzarne gli effetti sulle pareti con diversa inerzia termica, sono state simulate 2 situazioni: il caso peggiore, cioè con elevati carichi interni dovuti ad un'apertura diurna delle finestre (e dunque all'ingresso di calore dall'esterno) e il caso migliore, cioè con finestre chiuse e schermate di giorno e una ventilazione notturna. In particolare, sono state confrontate le temperature superficiali interne registrate sulle pareti P1 e P5 e le temperature operanti negli ambienti come parametro di comfort. L'ottimizzazione della ventilazione estiva (con un'attivazione esclusivamente notturna) determina un notevole abbassamento delle temperature superficiali in entrambe le pareti, pur mantenendosi un'oscillazione molto più ampia nella parete leggera.

**Incidenza di vari parametri sul comportamento di strutture a diversa inerzia** Sono stati elaborati i valori delle temperature operanti medie giornaliere e delle temperature superficiali massime giornaliere ricavando in entrambi i casi il valore massimo per il periodo estivo. Il valore ottenuto è stato usato per confrontare il comportamento di 3 tipologie costruttive (ad alta inerzia, mista, a bassa inerzia) al variare di alcuni parametri: la località climatica, la destinazione d'uso, la percentuale vetrata, l'introduzione di ventilazione notturna.

Si è così constatato che:

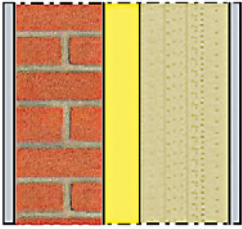
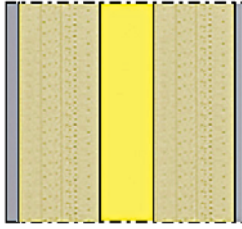
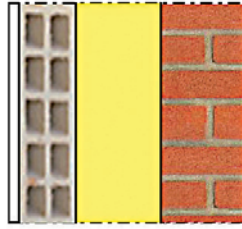
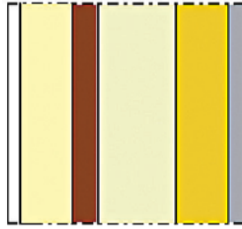
- all'aumentare della superficie vetrata, i valori massimi delle temperature operanti medie giornaliere aumentano per tutte le tipologie costruttive. Tale aumento incide di più in un clima caldo come quello di Palermo piuttosto che in un clima come quello di Ancona. Lo studio delle temperature massime giornaliere evidenzia come l'aumento della superficie finestrata, e dunque dei carichi interni, renda sfavorite le strutture a bassa inerzia;
- la ventilazione notturna porta notevoli vantaggi ma, anche nei casi ottimali in cui viene attivata, l'aumento della capacità termica areica interna periodica riduce di circa 1°C le temperature operanti medie giornaliere;
- le temperature, nel caso di un uso residenziale, registrano valori superiori rispetto ad un uso scolastico. Questo è spiegato dal fatto che, nel periodo estivo considerato (1 giugno- 30 settembre), i valori massimi di temperature operanti e superficiali per la residenza si registrano nel mese più caldo, a luglio, quando la scuola non è occupata dagli studenti e i carichi interni sono assenti. I valori massimi per la scuola si registrano nel mese di giugno.

**Prime verifiche su pareti di tipo reale** Si è effettuata una prima verifica su pareti realmente realizzabili (fig. 5) ponendole a confronto.

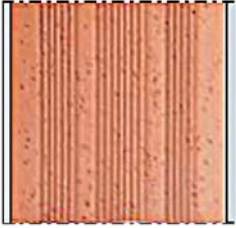
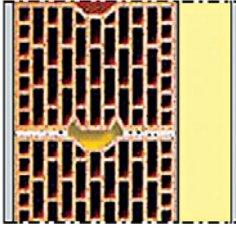
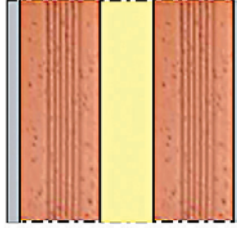
I risultati ottenuti per la scuola in fase estiva hanno suggerito la scelta di una parete di tipo R1 (elevato valore di  $C_{ip}$ ), piuttosto che la scelta di una parete di tipo R4 (valore molto basso di  $C_{ip}$ ), che registra valori di temperatura superficiale più elevati (tab. X). Analoghe considerazioni possono essere effettuate per il caso di studio di edilizia ad uso residenziale.

**Trasmittanza termica periodica ( $Y_{ie}$ ) e capacità termica areica interna periodica ( $C_{ip}$ )** Negli studi sopra riportati, si sono confrontate pareti a parità di trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$ , quest'ultima considerata pari a circa 0,12 W/m<sup>2</sup>K, ovvero il limite proposto nell'ipotesi di un aggiornamento normativo.

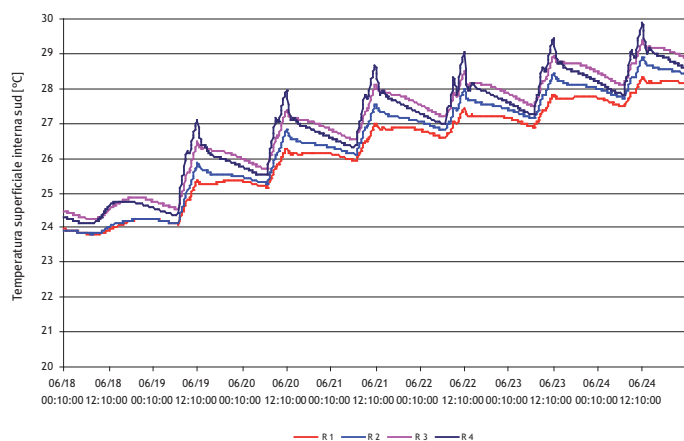
Con tale valore, tra le pareti analizzate, solo quelle con una capacità

	R1	R2	R3	R4	
interno					esterno
sp.	32,0 cm	35,5 cm	33,5 cm	18,5 cm	
fd	0,2531	0,3646	0,4307	0,3823	
$\varphi$	10,0 ore	9,7 ore	8,8 ore	8,0 ore	
$Y_{ie}$	0,1125 W/m <sup>2</sup> K	0,1095 W/m <sup>2</sup> K	0,1101 W/m <sup>2</sup> K	0,1056 W/m <sup>2</sup> K	
U	0,44 W/m <sup>2</sup> K	0,30 W/m <sup>2</sup> K	0,25 W/m <sup>2</sup> K	0,27 W/m <sup>2</sup> K	
$M_s$	368,00 kg/m <sup>2</sup>	282,20 kg/m <sup>2</sup>	286,10 kg/m <sup>2</sup>	66,20 kg/m <sup>2</sup>	
$C_{ip}$	154,9 kJ/m <sup>2</sup> K	106,0 kJ/m <sup>2</sup> K	66,5 kJ/m <sup>2</sup> K	17,6 kJ/m <sup>2</sup> K	
	Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Intonaco calce e gesso, sp. = 0,015 m	Cartongesso in lastre, sp. = 0,01 m	
	Mattone pieno, sp. = 0,12 m	Blocco forato, sp. = 0,12 m	Blocco forato, sp. = 0,08 m	Isolante, sp. = 0,04 m	
	Isolante, sp. = 0,05 m	Isolante, sp. = 0,08 m	Isolante, sp. = 0,12 m	Pannello OSB, sp. = 0,02 m	
	Blocco forato, sp. = 0,12 m	Blocco forato, sp. = 0,12 m	Mattone pieno, sp. = 0,12 m	Isolante, sp. = 0,06 m	
	Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m		Pannello in fibre di legno, sp. = 0,04 m	
				Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	

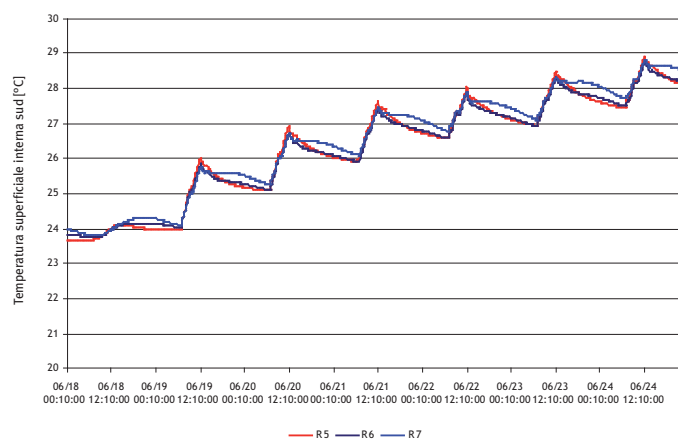
5. Quattro pareti realizzabili poste a confronto.

	R5	R6	R7	
interno				esterno
sp.	41,5 cm	36,0 cm	35,5 cm	
fd	0,04	0,19	0,36	
$\varphi$	20,2 ore	10,7 ore	9,7 ore	
$Y_{ie}$	0,01 W/m <sup>2</sup> K	0,06 W/m <sup>2</sup> K	0,11 W/m <sup>2</sup> K	
U	0,34 W/m <sup>2</sup> K	0,34 W/m <sup>2</sup> K	0,30 W/m <sup>2</sup> K	
$M_s$	419,8 kg/m <sup>2</sup>	258,0 kg/m <sup>2</sup>	282,2 kg/m <sup>2</sup>	
$C_{ip}$	58,9 kJ/m <sup>2</sup> K	72,7 kJ/m <sup>2</sup> K	106,0 kJ/m <sup>2</sup> K	

6. Pareti reali a confronto che rispettano i limiti proposti.



Tab. X - Temperature superficiali interne per le pareti R1, R2, R3, R4 dell'edificio scolastico (Ancona 18-24 giugno).



Tab. XI - Temperature superficiali interne della parete sud registrata per tre diverse pareti rientranti nei limiti proposti: superficie vetrata pari a 1/8 della superficie calpestabile e ventilazione diurna (Ancona, 18-24 giugno).

termica areica interna periodica superiore a  $90 \text{ kJ/m}^2\text{K}$  hanno garantito condizioni di comfort accettabili.

In particolare, fissando il valore di trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$ , vengono considerati costanti gli apporti gratuiti delle superfici opache, i quali contribuiscono al surriscaldamento dell'ambiente interno andandosi a sommare ai carichi interni.

È evidente, pertanto, come una diminuzione del valore  $Y_{ie}$  (corrispondente, ad esempio, ad un maggiore isolamento della parete opaca) determini di conseguenza una diminuzione dei carichi interni riducendo l'incidenza della capacità termica areica interna periodica. In questo modo, si rendono accettabili per tale parametro valori più bassi rispetto al limite di  $90 \text{ kJ/m}^2\text{K}$  indicato precedentemente. A tale proposito, sono state effettuate simulazioni su un numero elevato di pareti al variare della trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$ . A titolo esemplificativo, si riportano i risultati ottenuti per 3 pareti caratterizzate da valori di trasmittanza termica periodica pari a 0,01-0,06-0,11  $\text{W/m}^2\text{K}$  (fig. 6).

Dal confronto tra le temperature superficiali riscontrate a sud, per una settimana estiva del mese di giugno (tab. XI), si nota come le tre pareti esaminate, pur avendo diversi valori di  $C_{ip}$  e  $Y_{ie}$ , si comportino in modo analogo.

**Proposta di limiti da assegnare alla  $C_{ip}$  in relazione alla  $Y_{ie}$**  Dalle considerazioni effettuate, si è evidenziata la necessità di assegnare un limite di capacità termica areica interna periodica  $C_{ip}$

Trasmittanza termica periodica [W/m <sup>2</sup> K]	Capacità termica areica interna periodica [kJ/m <sup>2</sup> K]
$Y_{ie} \leq 0,04$	$C_{ip} \geq 50$
$0,04 < Y_{ie} \leq 0,08$	$C_{ip} \geq 70$
$0,08 < Y_{ie} \leq 0,12$	$C_{ip} \geq 90$

Tab. XII - Coppie di valori  $Y_{ie} - C_{ip}$  con analoghe risposte in termini di comfort abitativo in fase estiva.

variabile in funzione del valore di trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$  ( $\leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). I risultati ottenuti permettono di elaborare una proposta che individua coppie  $Y_{ie} - C_{ip}$  a cui corrispondono analoghe risposte di comfort abitativo in fase estiva (tab. XII).

### Considerazioni a margine sull'aspetto igrometrico

L'aumento dello spessore dell'isolante sul lato esterno dell'involucro non contribuisce alla riduzione della tensione di vapore che avviene soprattutto per la miscelazione dell'aria interna con l'aria esterna di infiltrazione. La massa interna, a tale riguardo, gioca un ruolo fondamentale, oltre che sul comfort, anche sull'accumulo igroscopico. Se infatti l'isolante posto sul lato esterno è di tipo sintetico (curva di adsorbimento bassa), l'accumulo igroscopico è di fatto a carico del laterizio: l'uso di un materiale non inerziale eliminerebbe tale opportunità favorendo il rischio di condensazione superficiale.

**Conclusioni** È stato effettuato uno studio sperimentale e parametrico che ha permesso di dimostrare come, ai fini del comfort estivo e nelle stagioni intermedie, la soluzione che ottiene i risultati migliori è sempre quella che presenta elevata inerzia termica sul lato interno e caratterizzata da un elevato valore di capacità termica areica periodica interna.

Anche al variare della zona climatica, della destinazione d'uso, della percentuale vetrata e della presenza, o meno, di ventilazione notturna, le soluzioni ad elevata inerzia interna presentano, in estate, temperature superficiali e operanti sempre inferiori rispetto alle soluzioni leggere, con differenze da 1 a 3°C.

Da altri studi, già avviati in parallelo, sugli aspetti igrometrici, di prossima pubblicazione, risulta che le soluzioni ad elevata inerzia termica interna si comportano meglio anche in relazione al rischio di condensa. È fondamentale pertanto che, nei prossimi/futuri sviluppi normativi, si tenga conto dell'inerzia termica interna introducendo anche la capacità termica areica interna periodica, con i relativi limiti quantitativi.

Nel presente articolo è stata formulata una proposta in tal senso. ¶