

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

Costanzo Di Perna (*), Francesca Stazi (**), Andrea Ursini Casalena (**), Alessandro Stazi (**)

(*) Dipartimento di Energetica, Università Politecnica delle Marche, Ancona

(**) Dipartimento di Architettura Costruzioni e Strutture, Università Politecnica delle Marche, Ancona

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.

La situazione attuale

D.Lgs. 311/06 e sue conseguenze

Il recente 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 introducendo un limite inferiore di massa superficiale M_s pari a 230 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 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 ed 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

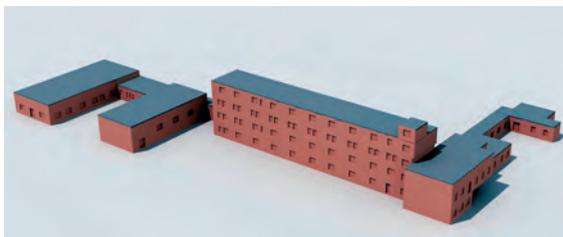


Fig. 1 (a sx) - La scuola assunta come caso di studio (vista sud).

Fig. 2 (a dx in alto) - Il caso di studio simulato con il software Energy-plus.

Fig. 3 (a dx in basso) - Lo studio si è concentrato su una sezione "adiabatica" dell'edificio simulato.

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 kg/m^2 sulla massa superficiale dell'involucro, sostituendolo, sempre per le località più soleggiate, con un limite sulla trasmittanza termica periodica $Y_{ie} = fd \cdot U$ [W/m²K] 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 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.

Valutazione e verifiche sul campo

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

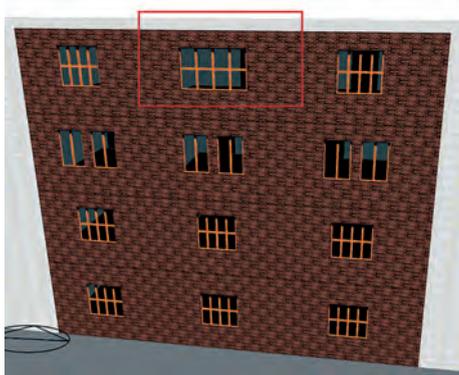
consideri anche i *carichi interni*, e più precisamente la *capacità termica areica interna periodica* (C_{ip}).

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 [fig. 1] - sul quale sono stati effettuati monitoraggi, simulazioni in regime dinamico con il software Energyplus [fig. 2], 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. 3].

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



Figg. 4 (a sx), 5 (a dx) - Analisi parametriche sulla superficie finestrata di un'aula all'ultimo piano: variazione del rapporto tra superficie vetrata e superficie calpestabile da 1/8 a 1/3.

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 pareti esterne 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 [figg. 4 e 5], 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. 6]. Inoltre, sono stati simulati 5 sistemi di copertura con diversa posizione di isolante e massa [fig. 7].

I risultati ottenuti

Y_{ie} ottimale dal punto di vista del risparmio energetico (riduzione dei carichi esterni)

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 trasmittan-

	P1	P2	P3	P4	P5	
interno						esterno
	sp. = 26,2 cm fd = 0,25 $\varphi = 8,0$ ore $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ $M_s = 320,7 \text{ kg/m}^2$ $C_{ip} = 151,7 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	sp. = 26,1 cm fd = 0,38 $\varphi = 7,1$ ore $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ $M_s = 237,4 \text{ kg/m}^2$ $C_{ip} = 150,5 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	sp. = 28,1 cm fd = 0,57 $\varphi = 6,7$ ore $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ $M_s = 154,9 \text{ kg/m}^2$ $C_{ip} = 107,1 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	sp. = 29,4 cm fd = 0,67 $\varphi = 6,5$ ore $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ $M_s = 113,7 \text{ kg/m}^2$ $C_{ip} = 71,0 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	sp. = 29,5 cm fd = 0,74 $\varphi = 5,8$ ore $Y_{ie} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ $M_s = 72,1 \text{ kg/m}^2$ $C_{ip} = 31,9 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	

Fig. 6 - Cinque tipologie di pareti poste a confronto.

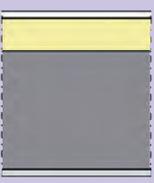
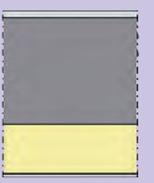
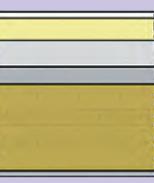
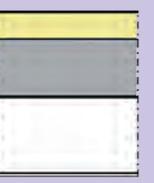
T1	T2	T3	T4	T5
				
sp. = 33,7 cm fd = 0,13 φ = 9,6 ore Y_{ie} = 0,05 W/m ² K U = 0,39 W/m ² K M_s = 664,1 kg/m ² C_{ip} = 228,5 kJ/m ² K	sp. = 37,4 cm fd = 0,20 φ = 9,7 ore Y_{ie} = 0,05 W/m ² K U = 0,25 W/m ² K M_s = 647,8 kg/m ² C_{ip} = 13,1 kJ/m ² K	sp. = 38,2 cm fd = 0,12 φ = 10,9 ore Y_{ie} = 0,05 W/m ² K U = 0,41 W/m ² K M_s = 415,58 kg/m ² C_{ip} = 91,6 kJ/m ² K	sp. = 40,4 cm fd = 0,16 φ = 11,4 ore Y_{ie} = 0,05 W/m ² K U = 0,31 W/m ² K M_s = 416,46 kg/m ² C_{ip} = 29,9 kJ/m ² K	sp. = 43,6 cm fd = 0,13 φ = 7,3 ore Y_{ie} = 0,05 W/m ² K U = 0,41 W/m ² K M_s = 369,40 kg/m ² C_{ip} = 57,4 kJ/m ² K
Piastrelle in ceramica, sp. = 0,015 m Isolante, sp. = 0,067 m Soletta in c.a. sp. = 0,24 m Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Piastrelle in ceramica, sp. = 0,015 m Soletta in c.a. sp. = 0,24 m Isolante, sp. = 0,109 m Cartongesso, sp. = 0,010 m	Piastrelle in cemento, sp. = 0,015 m Isolante, sp. = 0,052 m Massetto pendenze, sp. = 0,06 Caldana, sp. = 0,04 m Pignatta + travetto, sp. 0,20 m Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Piastrelle in cemento, sp. = 0,015 m Massetto pendenze, sp. = 0,06 Caldana, sp. = 0,04 m Pignatta + travetto, sp. 0,20 m Isolante, sp. = 0,074 m Intonaco calce e cemento, sp. = 0,015 m	Impermeabilizzante, sp. = 0,005 m Isolante, sp. = 0,07 m Caldana, sp. = 0,15 m Lamiera grecata acciaio, sp. 0,001 m Intercapedine aria, sp. = 0,20 m Cartongesso, sp. = 0,010 m

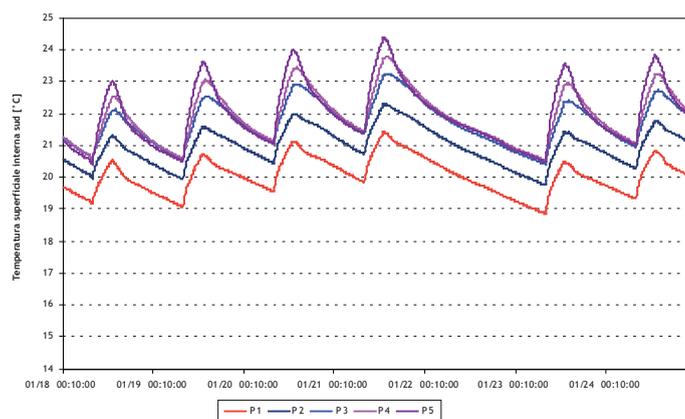
Fig. 7 - Cinque tipologie di coperture poste a confronto.

za termica stazionaria. Per l'edificio scolastico è stata ottenuta la tab. I, dove è evidente come le temperature superficiali interne diminuiscono 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°C rispetto a P1 (la parete con inerzia interna più elevata).

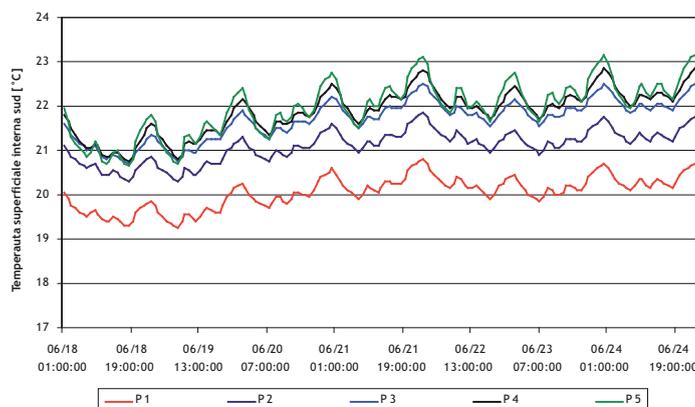
Fase estiva senza carichi interni

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



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.

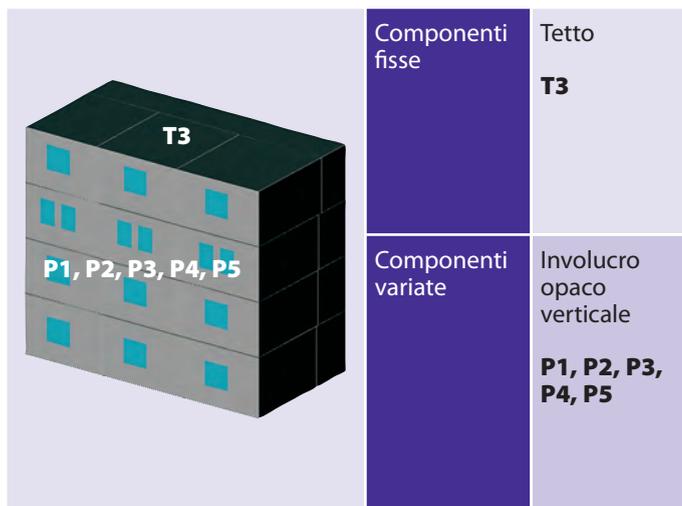


Fig. 8 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alle tabb. I ÷ V.

tab. 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.

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).

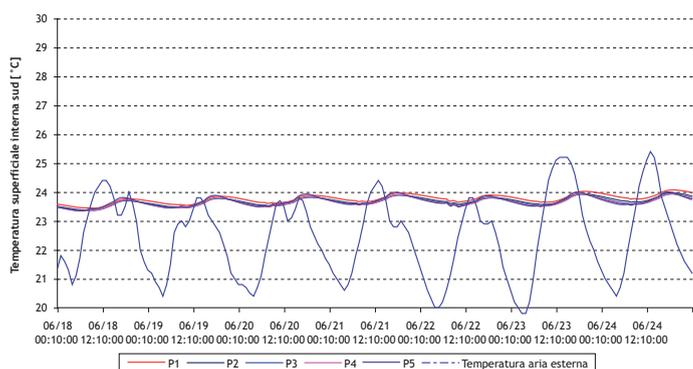
Fase estiva con carichi interni

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.

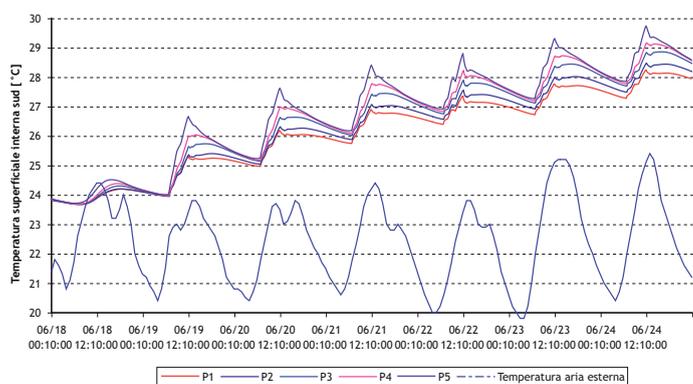
Ciò si nota chiaramente dalla tab. IV che rappresenta l'andamento delle temperature superficiali interne delle 5 pareti studiate per il caso dell'edificio scolastico (elevati carichi interni).

I valori registrati dalla parete P5, costituita da solo coibente, sono superiori rispetto alle altre pareti e presentano fluttuazioni elevate.

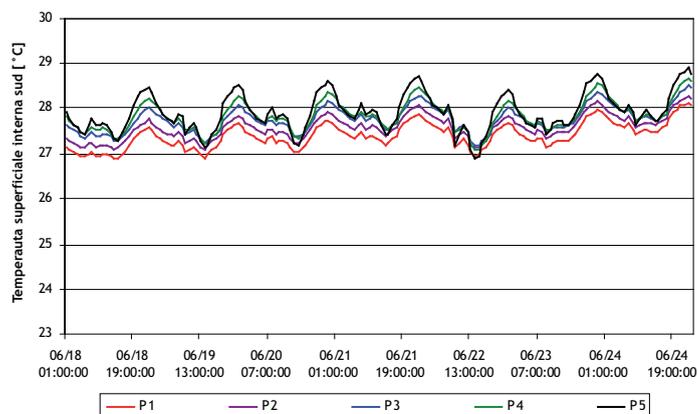
Lo stesso fenomeno si nota nel caso dell'edificio residenziale [tab. V], in cui la parete P5, costituita da solo coibente, registra temperature di quasi 1°C superiori rispetto ad una parete ad elevata inerzia (P1).



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.



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

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 tab. VI e VII 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 vincolo 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 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. VIII]: come hanno dimostrato le tabelle citate in precedenza, le pareti ottimali dal punto di vista del comfort (P1 e P2) sono proprio quelle con capacità ter-

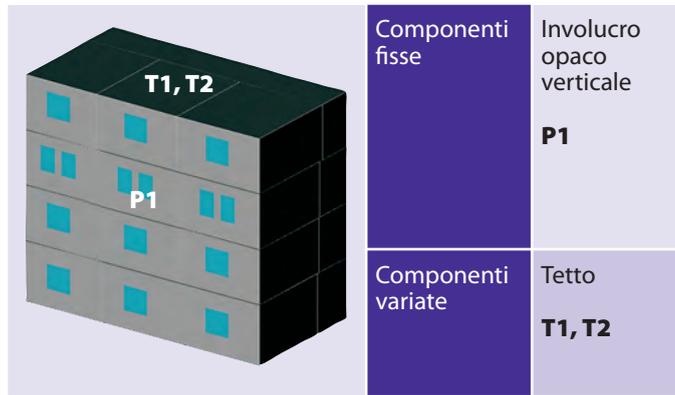
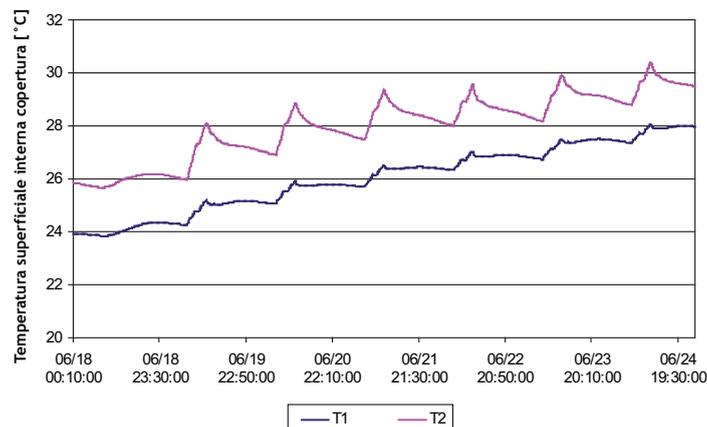
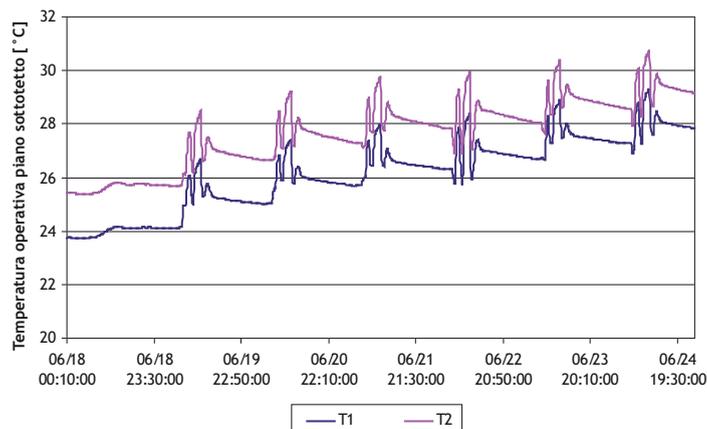


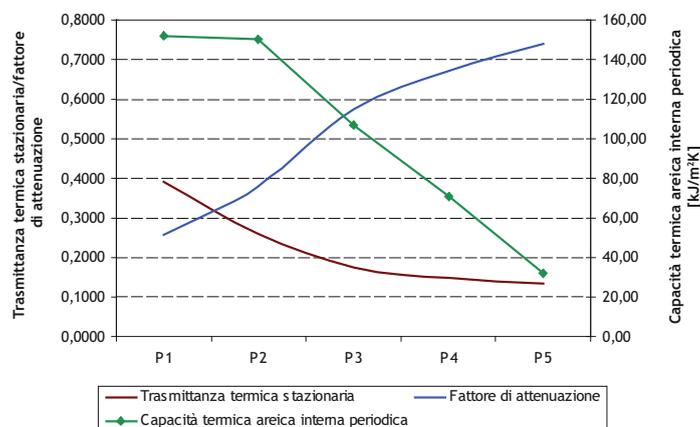
Fig. 9 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alle tabb. VI e VII.



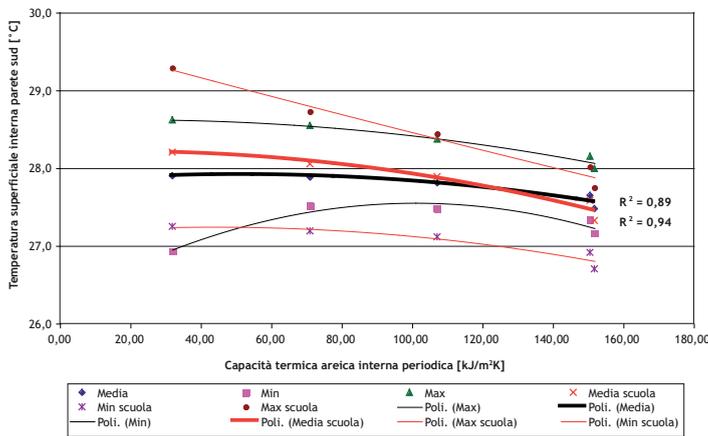
Tab. VI - Temperature superficiali interne delle 2 coperture per 1 settimana estiva (18-24 giugno) nell'edificio scolastico.



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



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



Tab. IX - Temperature superficiali interne medie giornaliere (valori minimi, medi e massimi) nel caso della scuola (in rosso) e della residenza (in nero), 23 giugno.

mica areica periodica interna più elevata. Poiché 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. Dalla tab. IX si nota come, nel caso di scuole ed uffici (con livelli elevati di carico interno), i valori di temperatura superficiale (medi, massimi e minimi) sono molto elevati in estate, soprattutto nel caso di pareti esterne a bassa capacità termica areica interna periodica.

La linea dei valori medi - rossa per la scuola e nera per la residenza - (e ancor più la linea dei valori massimi) ha un'inclinazione superiore nel primo caso, evidenziando proprio l'elevata incidenza della capacità termica areica interna periodica sulle temperature superficiali quando i carichi interni sono elevati.

Inerzia termica interna o sull'involucro esterno?

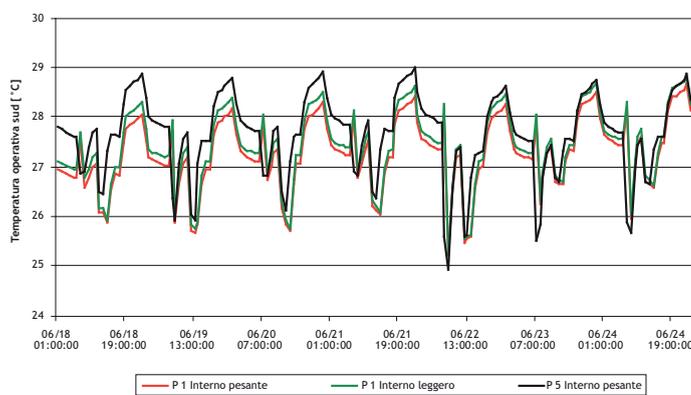
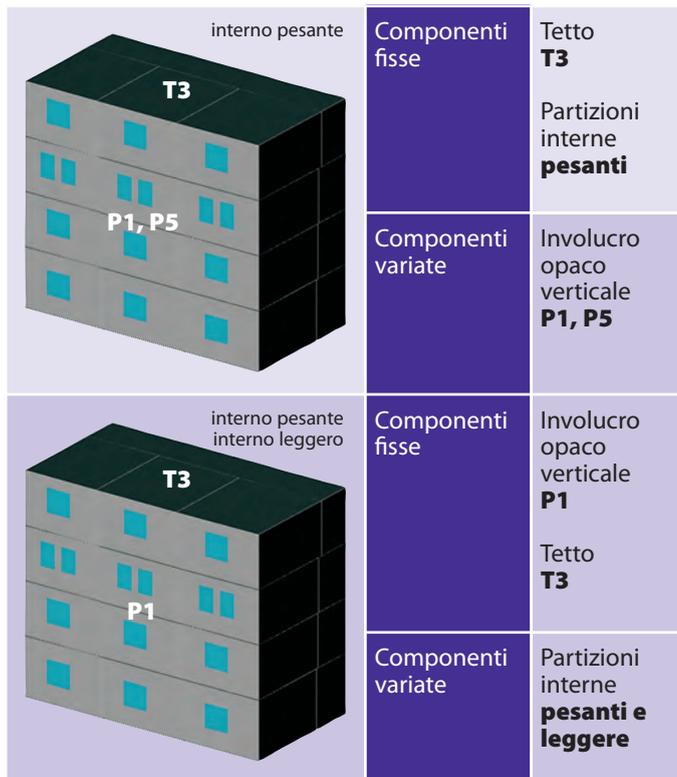
È bene sottolineare che la scelta di aumentare l'inerzia termica delle strutture interne non è risolutiva dal punto di vista del comfort. L'incremento dell'inerzia di solai e pareti interne non modifica sensibilmente la temperatura superficiale delle relative strutture, ovvero non modifica la temperatura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

Fig. 10 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alla tab. X.



Tab. X - Temperatura operante sud (18-24 giugno) per 3 casi di studio (residenza, ventilazione diurna).

P1 interno pesante: involucro esterno pesante (P1) e divisori interni pesanti;
 P1 interno leggero: involucro esterno pesante (P1) e divisori interni leggeri;
 P5 interno pesante: involucro esterno leggero (P5) e divisori interni pesanti.

divisori interni, da pesanti (forati da 15 cm intonacati su entrambi i lati) a leggeri (isolante sp.=10 cm rivestito con pannelli in cartongesso). Nella tab. X si riscontra una variazione delle temperature operanti 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 [tab. XI], 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 [tab. XII] determina un innalzamento delle temperature superficiali per entrambe le pareti e una notevole escursione termica giornaliera per la parete di tipo leggero.

Analoghe considerazioni possono essere

fatte confrontando le temperature superficiali in copertura [tabb. XIII, XIV].

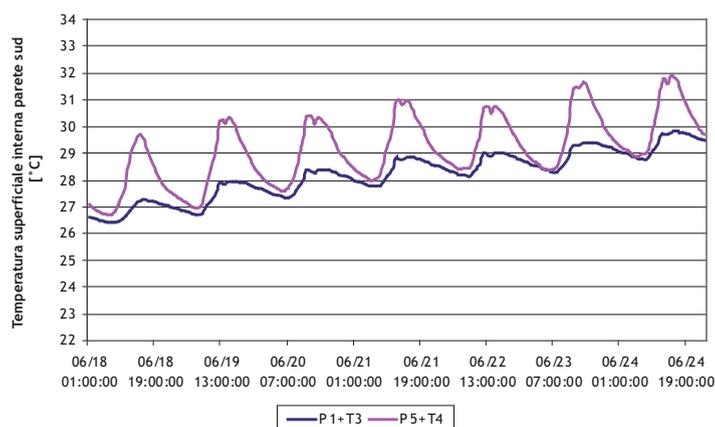
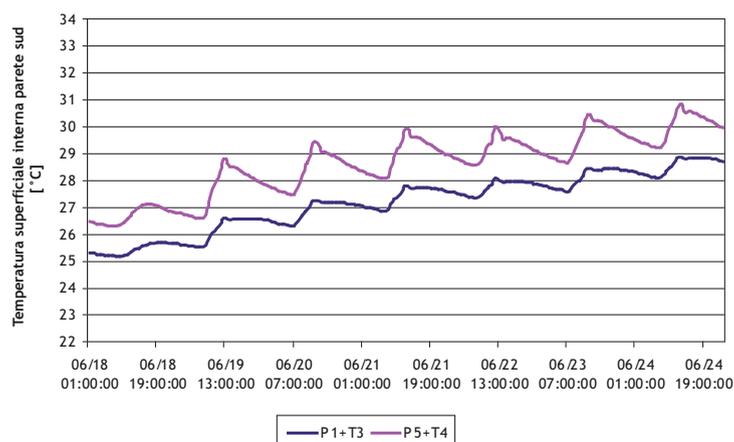
Le pareti P1 e P5 sono state confrontate dal punto di vista del comfort interno riportando i valori di temperatura operante registrata nei due casi e confrontandoli con i limiti di comfort individuati secondo la EN 15251:2007.

La verifica è stata effettuata per i due valori di superficie finestrata selezionati.

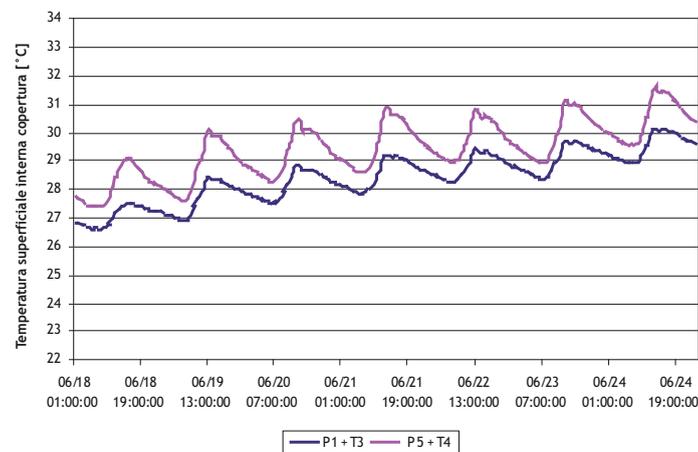
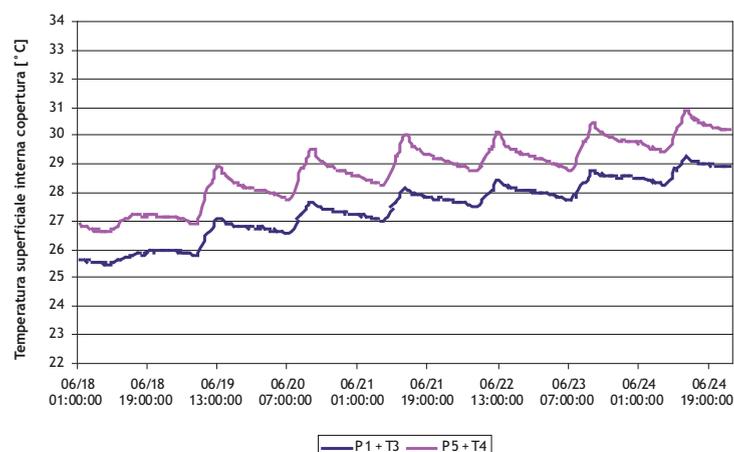
La parete ad elevata inerzia P1 presenta un numero di ore di *discomfort* inferiore rispetto alla parete leggera P5 [tab. XV].

In particolare, le ore di *discomfort* dovute al surriscaldamento dell'ambiente interno sono del 7% nel primo caso e del 25% nel secondo caso.

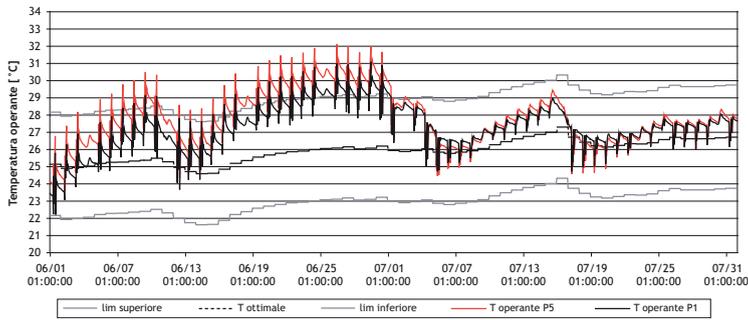
L'aumento della percentuale vetrata [tab.



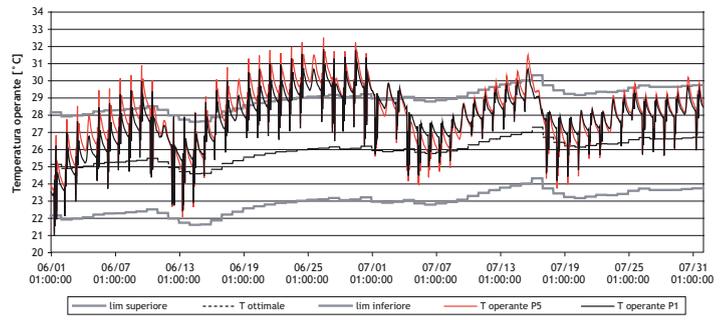
Tabb. XI e XII - Temperature superficiali interne per le pareti P1 e P5 con superficie vetrata pari a 1/8 (a sinistra) e a 1/3 (a destra) della superficie calpestabile (scuola, ventilazione diurna).



Tabb. XIII e XIV - Temperature superficiali interne in copertura con superficie vetrata pari a 1/8 (a sinistra) e a 1/3 (a destra) della superficie calpestabile (scuola, ventilazione diurna).



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



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

Tabb. XV e XVI - 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).

XVI] 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 diminuita notevolmente all'aumentare della percentuale finestrata, incide notevolmente sul livello di comfort interno.

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 nelle pareti P1 e P5 e le temperature operanti negli ambienti come parametro di comfort. L'ottimizzazione della ventilazione estiva (con un'attivazione esclusivamente

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 di diversa inerzia termica, sono state simulate 2

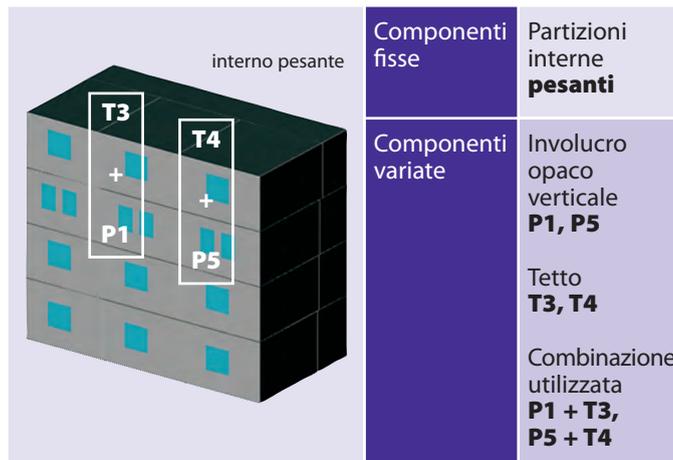
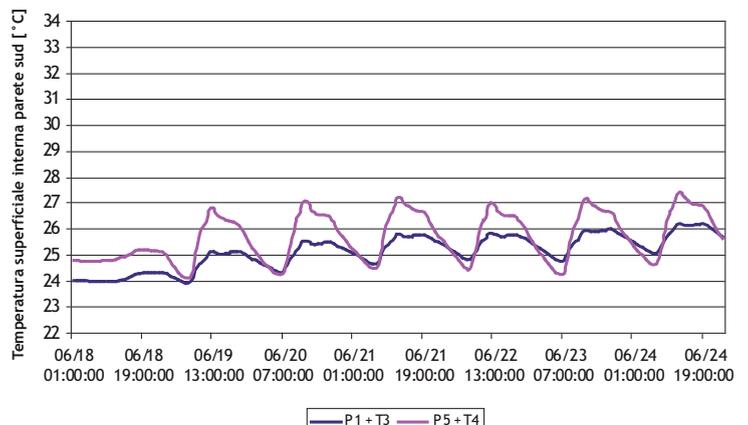
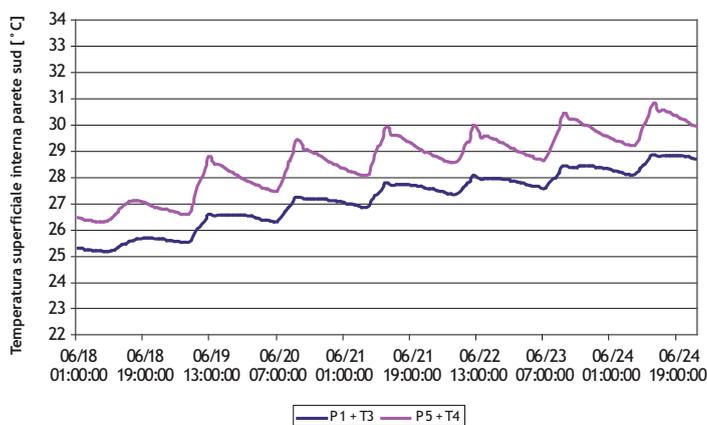
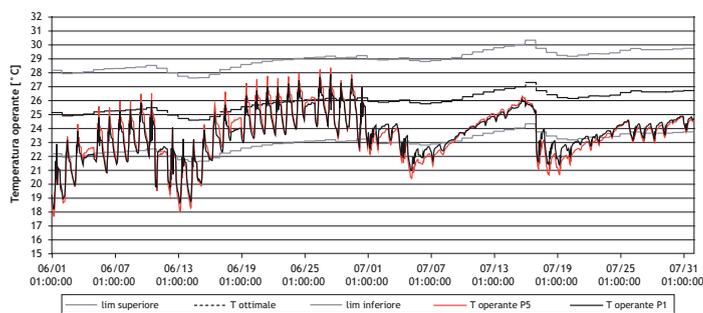


Fig. 11 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alle tabb. XI ÷ XIX.



Tabb. XVII e XVIII - Temperature superficiali interne per le pareti P1 e P5 con superficie vetrata pari a 1/8 della scuola con una ventilazione diurna (a sinistra) e notturna + schermatura diurna (a destra).



Tab. XIX - Temperature operanti registrate nei due casi (edificio con parete P1 e P5) con superficie vetrata pari a 1/8 dopo l'introduzione della ventilazione notturna + schermatura diurna.

gato 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.

notturna) determina un notevole abbassamento delle temperature superficiali in entrambe le pareti, pur mantenendosi un'oscillazione molto più ampia nella parete leggera [tabb. XVII e XVIII). Introducendo una ventilazione notturna, la curva delle temperature operanti [tab. XIX] si abbassa notevolmente registrando di notte, per entrambe le pareti, un elevato numero di ore di *discomfort*. In particolare, la parete ad elevata inerzia registra il 24% di ore di *discomfort* mentre la parete leggera ne registra il 38%, dimostrando, anche in questo caso, il miglior comportamento della parete ad elevata inerzia.

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.

Dalla tab. XX, ottenuta per la fase estiva, si nota 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 (dalla tipologia A alla tipologia B) 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 spie-

Fig. 12 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alla tab. XX.

<p>interno pesante</p>	<p>Componenti fisse</p>	<p>Involucro opaco verticale P1 Tetto T3 Partizioni interne pesanti</p>
<p>interno pesante</p>	<p>Componenti fisse</p>	<p>Involucro opaco verticale P5 Tetto T4 Partizioni interne pesanti</p>
<p>interno leggero</p>	<p>Componenti fisse</p>	<p>Involucro opaco verticale P5 Tetto T5 Partizioni interne leggere</p>
<p>Variazioni parametriche</p>		<p>- percentuale finestrata - ventilazione - zona climatica - destinazione d'uso</p>

Tab. XX - Temperature operanti e superficiali interne per differenti soluzioni costruttive al variare delle località, destinazione d'uso, superficie vetrata e tipo di ventilazione/schermatura.

Località		Ventilazione		1/8 ⁽¹⁾ (S _{op} /V = 0,41) ⁽²⁾			1/6 (S _{op} /V = 0,39)		1/4 (S _{op} /V = 0,37)		1/3 (S _{op} /V = 0,35)		
STRUTTURA				A	B	C	A	B	A	B	A	B	C
A = tipologia costruttiva ad alta inerzia													
B = tipologia costruttiva mista (involucro esterno bassa inerzia, strutture interne alta inerzia)													
C = tipologia costruttiva a bassa inerzia													
SCUOLA	ANCONA	diurna ⁽³⁾ non schermata	T _{op} ⁽⁴⁾	30	31	32	30	31	30	31	31	32	33
			T _{sup} ⁽⁵⁾	30	32	33	31	32	31	33	32	34	37
		notturna schermata	T _{op}	26	27	28	26	27	27	28	29	30	31
			T _{sup}	27	28	29	27	28	27	29	30	33	35
	PALERMO	diurna non schermata	T _{op}	30	31	33	31	32	31	32	32	33	35
			T _{sup}	31	32	34	31	33	32	33	33	35	38
		notturna schermata	T _{op}	27	28	29	27	28	27	28	30	31	32
			T _{sup}	29	30	31	28	30	28	30	31	34	38
	BOLZANO	diurna non schermata	T _{op}	30	31	32	30	31	30	31	31	32	33
			T _{sup}	30	32	33	30	32	31	32	32	34	36
		notturna schermata	T _{op}	25	26	26	25	25	25	25	26	27	29
			T _{sup}	26	28	29	26	27	26	27	27	29	32
RESIDENZA	ANCONA	diurna non schermata	T _{op}	32	33	33	32	33	32	33	32	33	34
			T _{sup}	32	34	35	33	34	33	34	33	34	36
	notturna schermata	T _{op}	30	31	32	30	31	30	31	30	31	31	
		T _{sup}	31	32	33	31	32	31	32	31	32	33	

(1) rapporto tra superficie vetrata e superficie calpestabile
 (2) rapporto tra superficie opaca esterna disperdente e volume climatizzato della stanza
 (3) ventilazione corrispondente ad un uso tradizionale con un'apertura giornaliera delle finestre per il ricambio d'aria
 (4) valore massimo delle temperature operanti medie giornaliere nel periodo estivo (1 giugno - 30 settembre)
 (5) valore massimo delle temperature superficiali massime giornaliere nel periodo estivo (1 giugno - 30 settembre)

Prime verifiche su pareti di tipo reale

Si è effettuata una prima verifica su pareti realmente realizzabili [fig. 13] 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 (elevata inerzia interna valore molto

basso di C_{ip}), che registra valori di temperatura superficiale più elevati [tab. XXI]. Analoghe considerazioni possono essere effettuate per il caso di studio di edilizia ad uso residenziale [tab. XXII].

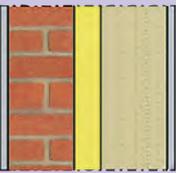
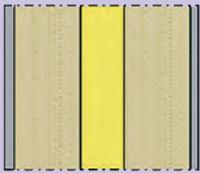
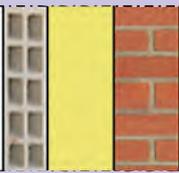
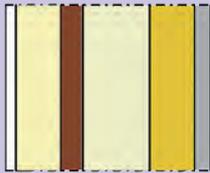
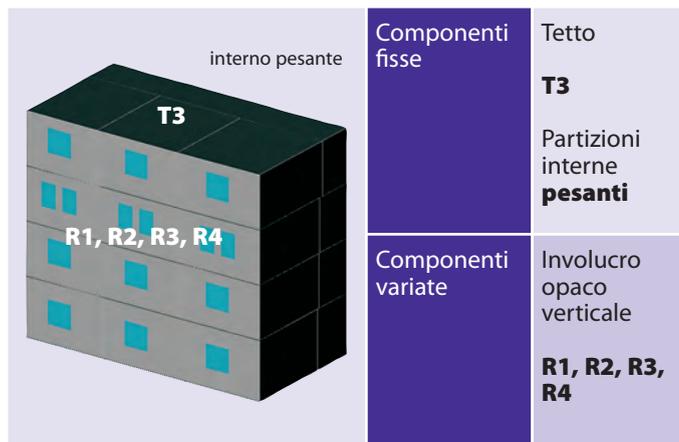
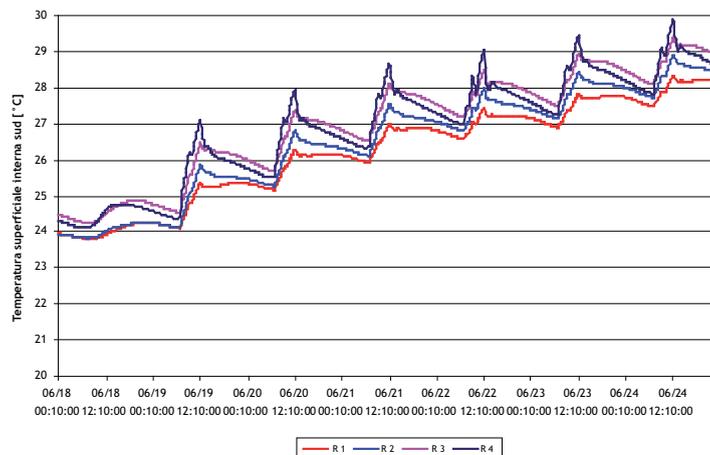
	R1	R2	R3	R4	
interno					esterno
	sp. = 32,0 cm fd = 0,2531 φ = 10,0 ore Y_{ie} = 0,1125 W/m ² K U = 0,44 W/m ² K M_s = 368,00 kg/m ² C_{ip} = 154,9 kJ/m ² K	sp. = 35,5 cm fd = 0,3646 φ = 9,7 ore Y_{ie} = 0,1095 W/m ² K U = 0,30 W/m ² K M_s = 282,20 kg/m ² C_{ip} = 106,0 kJ/m ² K	sp. = 33,5 cm fd = 0,4307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

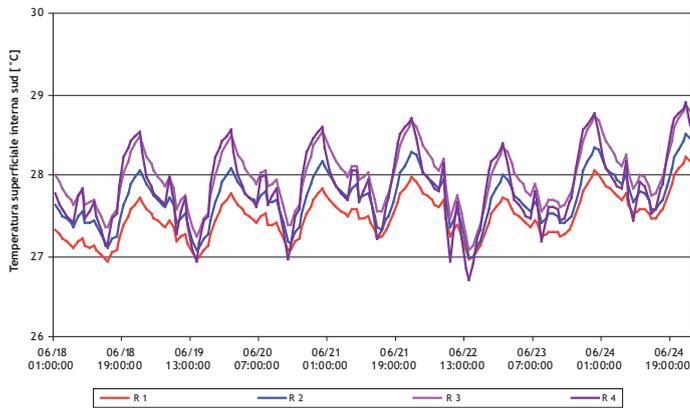
Fig. 13 - Quattro pareti realizzabili poste a confronto.

Fig. 14 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alle tabb. XXI e XXII.



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





Tab. XXII - Temperature superficiali interne per le pareti R1, R2, R3, R4 dell'edificio residenziale (18-24 giugno, ventilazione diurna).

ne 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 kJ/m²K 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 [fig. 15] caratterizzate da valori di trasmittanza termica periodica pari a 0,01-0,06-0,11 W/m²K. Dal confronto tra le temperature superficiali riscontrate a sud, per una settimana estiva del mese di giugno [tab. XXIII], si nota come le tre pareti esaminate, pur avendo diversi valori di C_{ip} e Y_{ie} , si comportino in modo analogo.

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/m²K, ovvero il limite proposto nell'ipotesi di un aggiornamento normativo. Con tale valore, tra le pareti analiz-

zate, solo quelle con una capacità termica areica interna periodica superiore a 90 kJ/m²K 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 diminuzio-

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

Fig. 15 - Pareti reali a confronto che rispettano i limiti proposti.

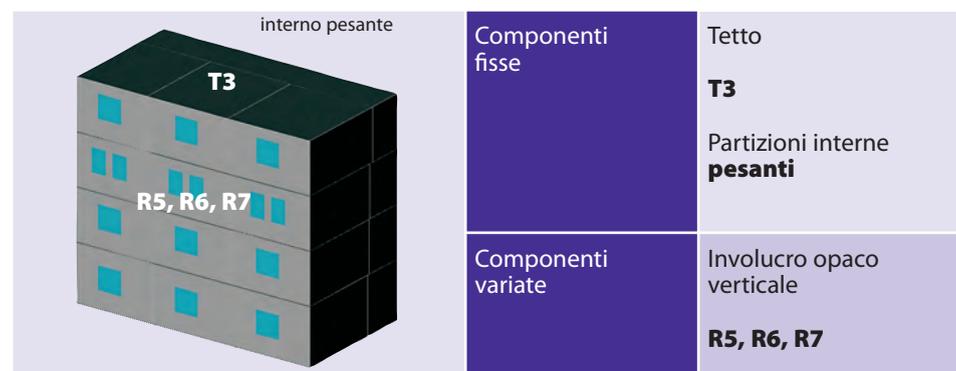
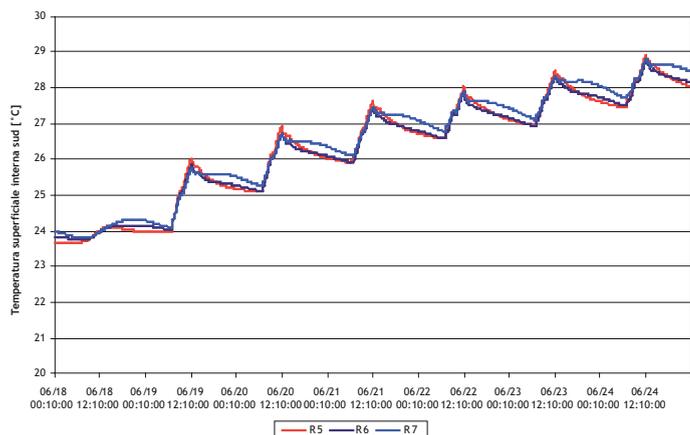


Fig. 16 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alla tab. XXIII.



Tab. XXIII - 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, 18-25 giugno.

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 abbiamo formulato una nostra proposta in tal senso.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia ANDIL Assolaterizi per aver autorizzato la pubblicazione del presente articolo.

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

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 infil-

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

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

trazione. 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.

Bibliografia

- Norma ISO 13786:2007
- Norma EN 15251:2007
- F. Stazi, C. Di Perna, A. Stazi, *Regulations and energy classification in Italian temperate climates*, Proceedings of the International Conference on the Transposition of the Energy Performance on Building Directive TEPBD, 1012 may 2006, Budapest, Hungary. ISBN 963-420-863-0.
- F. Stazi, A. Mengarelli, C. Di Perna, A. Stazi, *La casa del comfort sostenibile*, L'industria dei Laterizi n.108, settembre-ottobre 2007, pagg. 12-24.
- F. Stazi, C. Di Perna, L. Del Prete, A. Stazi, *Comparison between monitoring and simulating. An important step forward for model reliability*, Proceedings of the 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition, september 3-6, 2007, Tsinghua University, Beijing, China, ISBN: 0-9771706-3-2, pagg. 1470-1476.
- F. Stazi, C. Nicoletti, C. Di Perna, A. Stazi, *Contenere... il caldo*, Modulo, febbraio 2006, BEMA ed., Milano.
- F. Stazi, *Traditional massive building or "passivhaus"? Contradictions between Traditional Architecture and International Standards*, III International Conference on Architecture and Building Technologies- Regional Architecture in euro- Mediterranean Area, Ischia, June 15-16, 2007.
- F. Stazi, C. Di Perna, E. Mengaroni, *Effectiveness of natural ventilation and thermal inertia on the internal comfort of an office building*, Atti del Terzo Congresso Internazionale Ar.Tec. 21-23 novembre 2007, Ancona. Ed. Alinea, ISBN 978-88-6055-223-5.