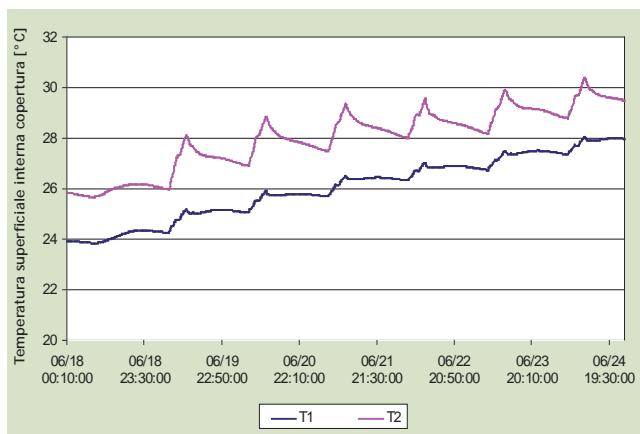
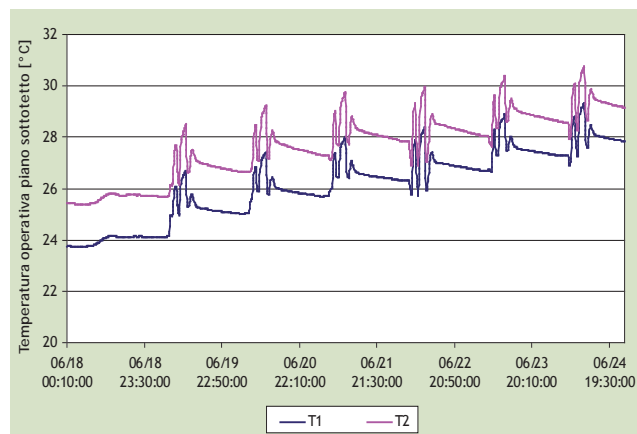


Tab. VI - Temperature superficiali interne delle 2 coperture per 1 settimana estiva (18-24 giugno) nell'edificio scolastico.



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



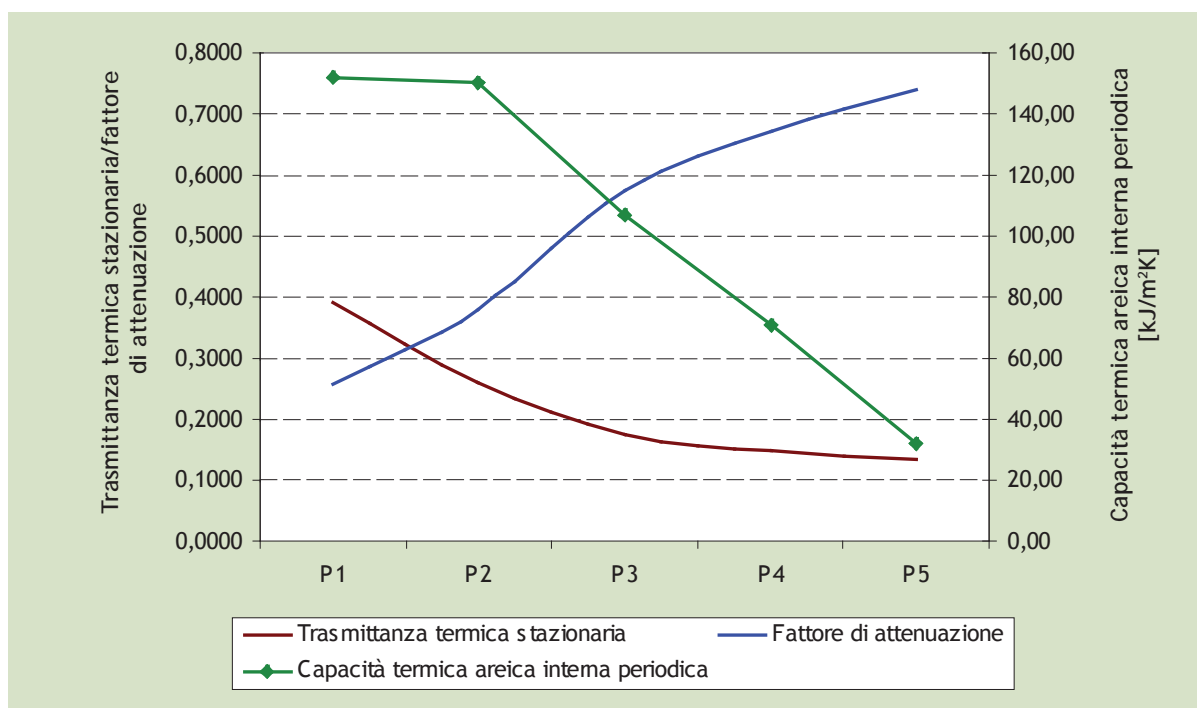
sinusoidali regolari e un flusso termico monodimensionale, descritto dalla ISO 13786:2007, si ritiene opportuno proporre un ulteriore vincolo di valutazione, ovvero un parametro ottenibile dal medesimo calcolo senza oneri aggiuntivi: la capacità termica areica periodica interna C_{ip} (ISO 13786). Tale 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 termica areica periodica interna più elevata.

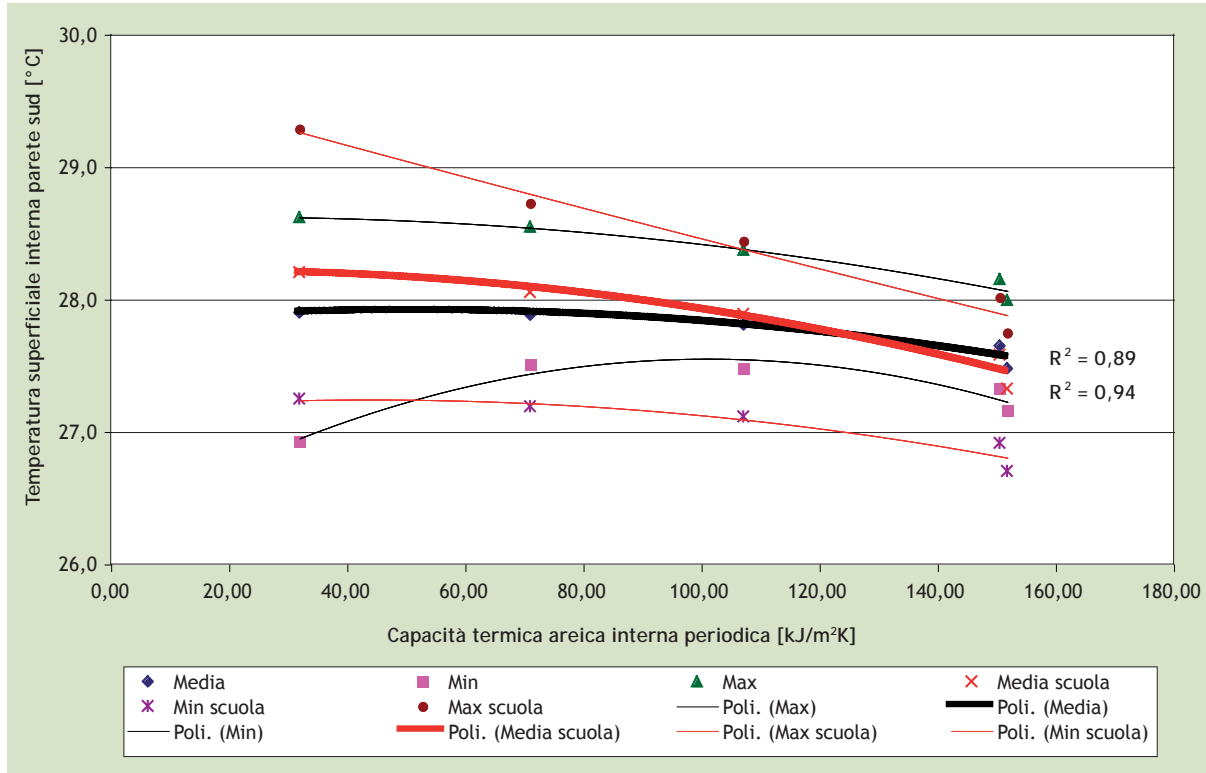
Poiché il parametro C_{ip} fornisce un'indicazione della capacità di accumulo della parete sul lato interno, in estate tanto maggiori sono i carichi interni (ad esempio, un'aula scolastica affollata) tanto più importante sarà fissare un valore alto di tale parametro.

Dalla tabella IX si nota come, nel caso di scuole ed uffici (con livelli elevati di carico interno), i valori

Tab. VIII - Trasmissione 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.



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 tabella 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 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 tabella X si riscontra una variazione delle temperature operanti trascurabile.

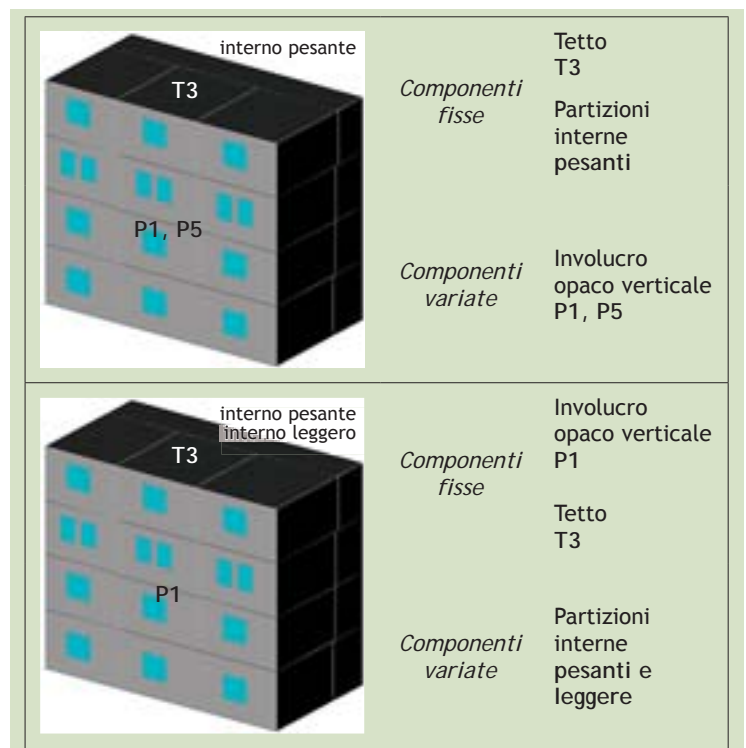
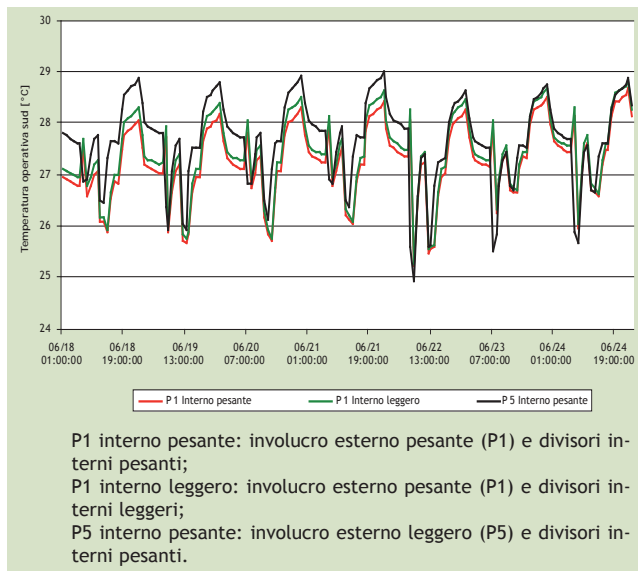


Fig. 10 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alla tab. X.

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



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.

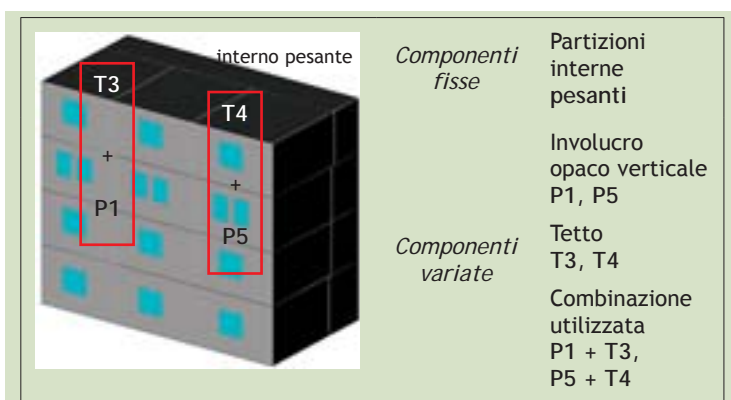
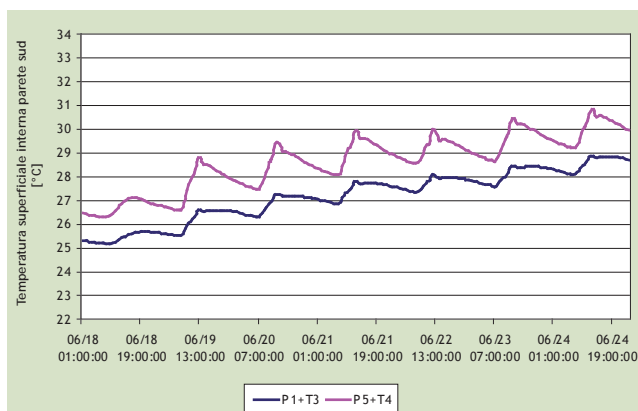


Fig. 11 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alle tabb. XI ÷ IXX.

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).



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.

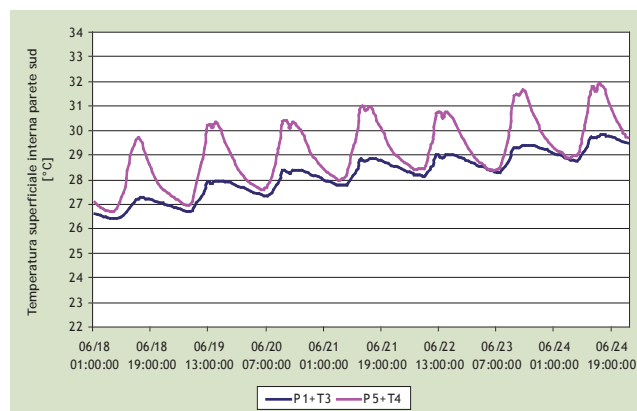
Le pareti P1 e P5 sono state confrontate dal punto di vista del comfort interno riportando i valori di temperatura operante registrata nei due casi e confrontandoli con i limiti di comfort individuati secondo la EN15251:2007. La verifica è stata effettuata per i due valori di superficie finestrata selezionati.

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. 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.

INCIDENZA DELLA VENTILAZIONE NATURALE

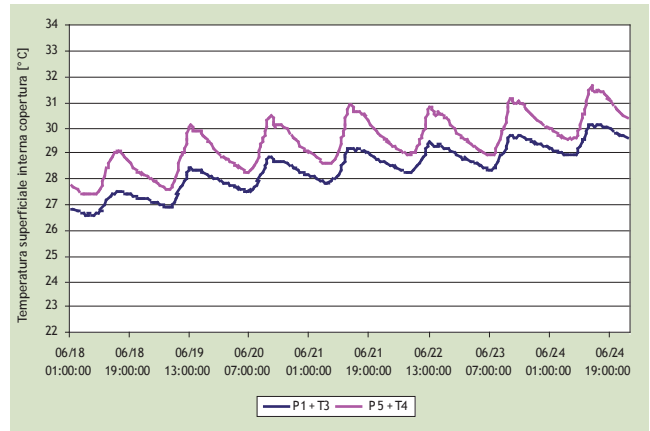
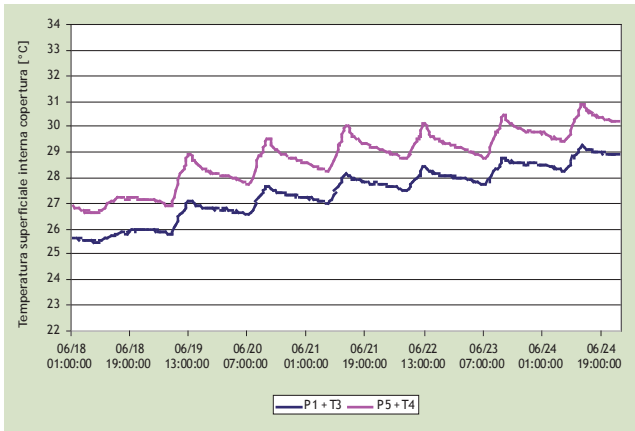
Un ulteriore parametro che incide notevolmente sul comportamento dell'involucro esterno è la ventilazione naturale. Per analizzarne gli effetti sulle pareti di diversa inerzia termica, sono state simulate 2



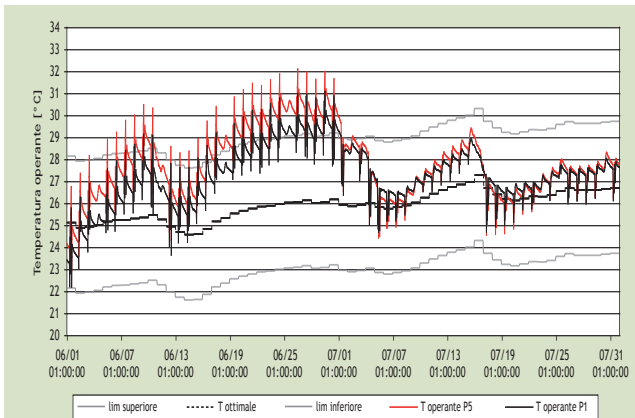
situazioni: il caso peggiore, cioè con elevati carichi interni dovuti ad un'apertura diurna delle finestre (e dunque all'ingresso di calore dall'esterno) e il caso migliore, cioè con finestre chiuse e schermate di giorno e una ventilazione notturna. In particolare, sono state confrontate le temperature superficiali interne registrate nelle pareti P1 e P5 e le temperature ope-

ranti 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 (tabb. XVII e XVIII).

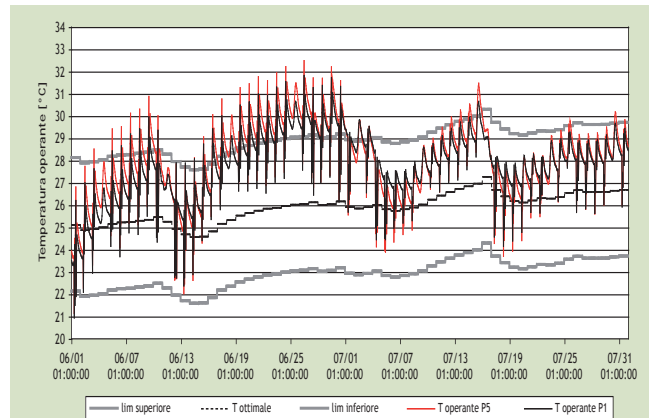
Tabb. XIII e XIV - Temperature superficiali interne in copertura con superficie vetrata pari a 1/8 (a sinistra) e a 1/3 (a destra) della superficie calpestabile (scuola, ventilazione diurna).



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).

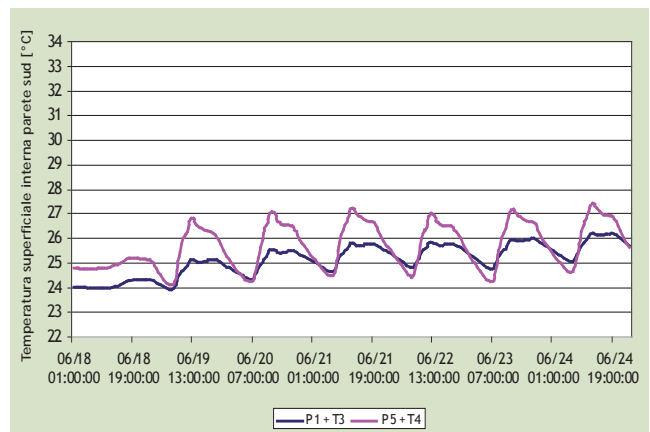
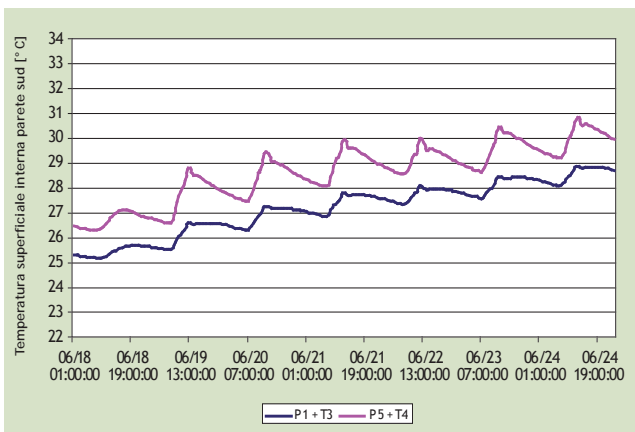


Ore di *discomfort* per surriscaldamento:
P1 = 7%; P5 = 25%



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

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.

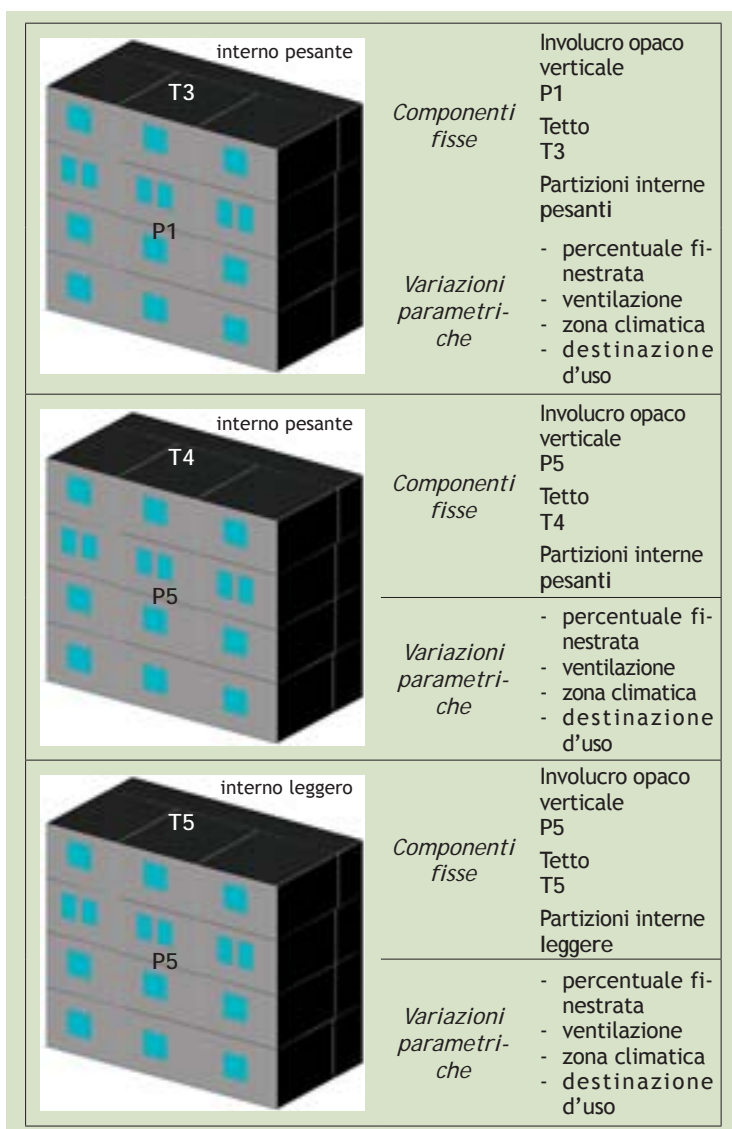
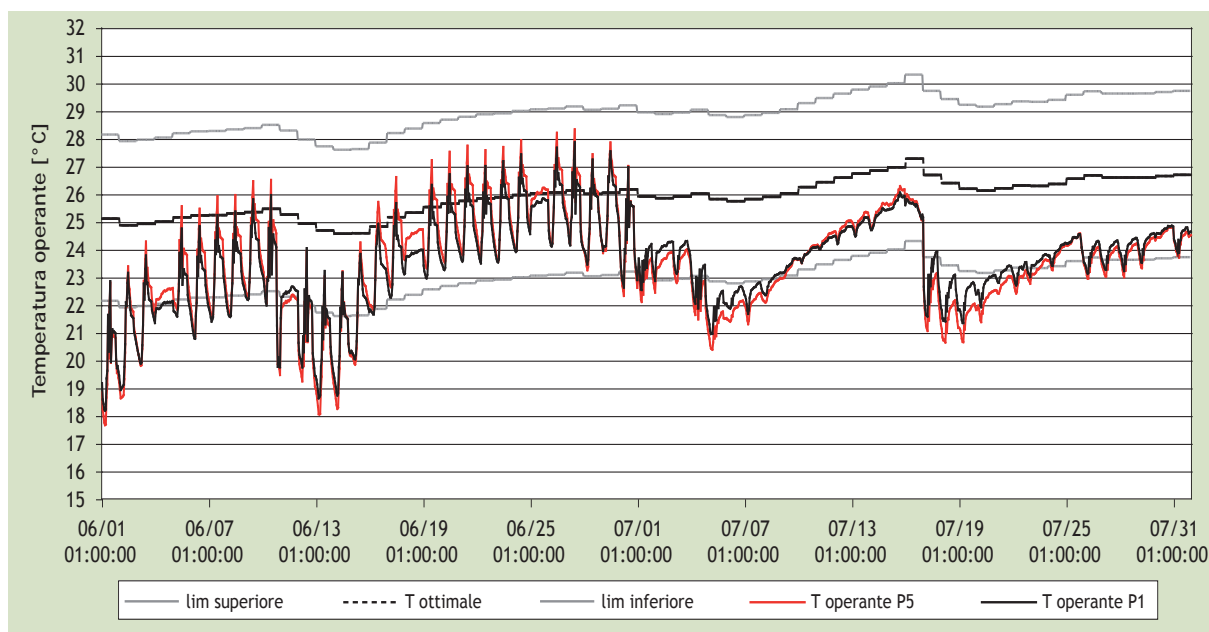


Fig. 12 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alla tab. XX.

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 tabella 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 sfavore 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

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 = 0,37)		1/4 (S _{op} /V = 0,39)		1/3 (S _{op} /V = 0,35)			
			A	B	C	A	B	A	B	A	B	C	
STRUTTURA													
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⁾	T _{op} ⁽⁴⁾	30	31	32	30	31	30	31	31	32	33
		non schermata	T _{sup} ⁽⁵⁾	30	32	33	31	32	31	33	32	34	37
		notturna	T _{op}	26	27	28	26	27	27	28	29	30	31
		schermata	T _{sup}	27	28	29	27	28	27	29	30	33	35
	PALERMO	diurna	T _{op}	30	31	33	31	32	31	32	32	33	35
		non schermata	T _{sup}	31	32	34	31	33	32	33	33	35	38
		notturna	T _{op}	27	28	29	27	28	27	28	30	31	32
		schermata	T _{sup}	29	30	31	28	30	28	30	31	34	38
	BOLZANO	diurna	T _{op}	30	31	32	30	31	30	31	31	32	33
		non schermata	T _{sup}	30	32	33	30	32	31	32	32	34	36
		notturna	T _{op}	25	26	26	25	25	25	25	26	27	29
		schermata	T _{sup}	26	28	29	26	27	26	27	27	29	32
RESIDENZA	ANCONA	diurna	T _{op}	32	33	33	32	33	32	33	32	33	34
		non schermata	T _{sup}	32	34	35	33	34	33	34	33	34	36
		notturna	T _{op}	30	31	32	30	31	30	31	30	31	31
		schermata	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)

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. 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

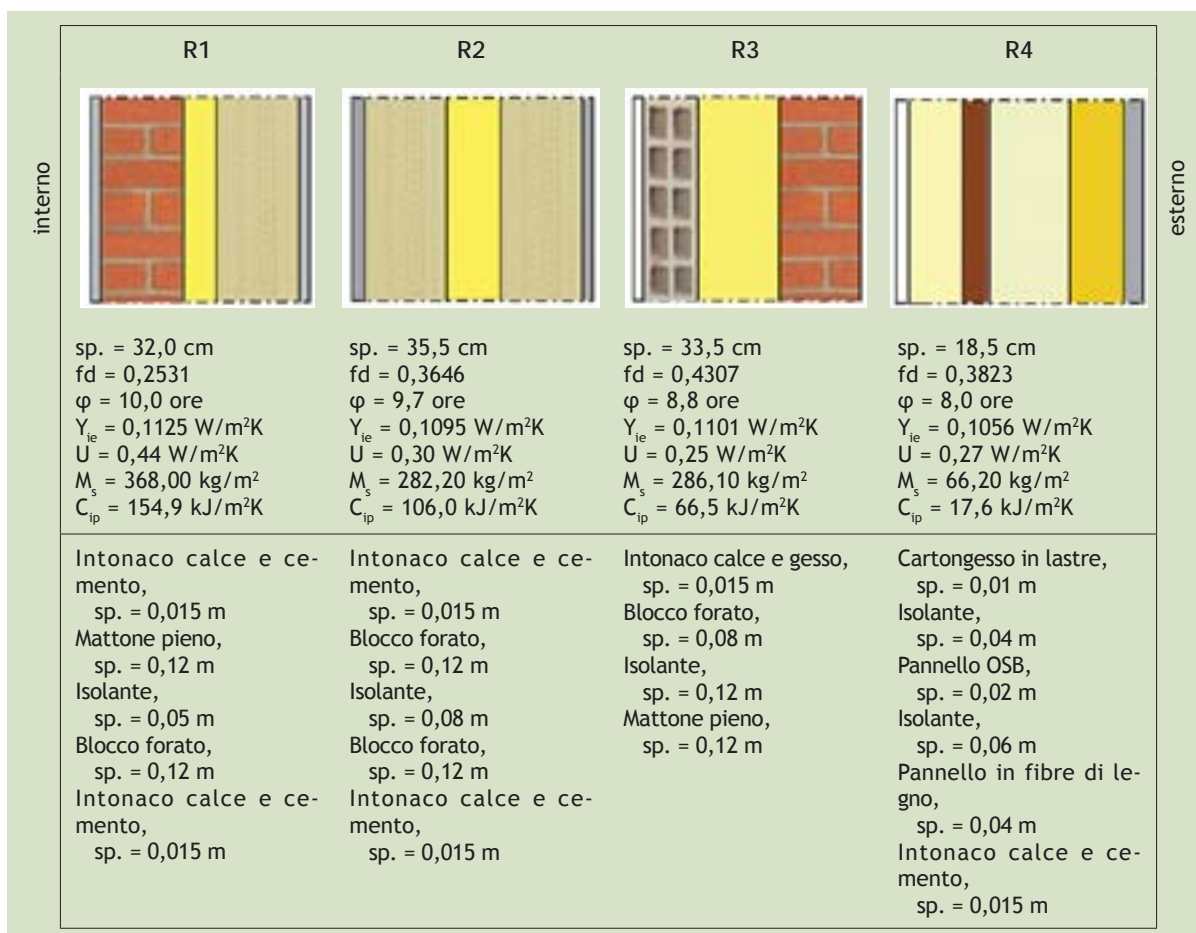


Fig. 13 - Quattro pareti realizzabili poste a confronto.

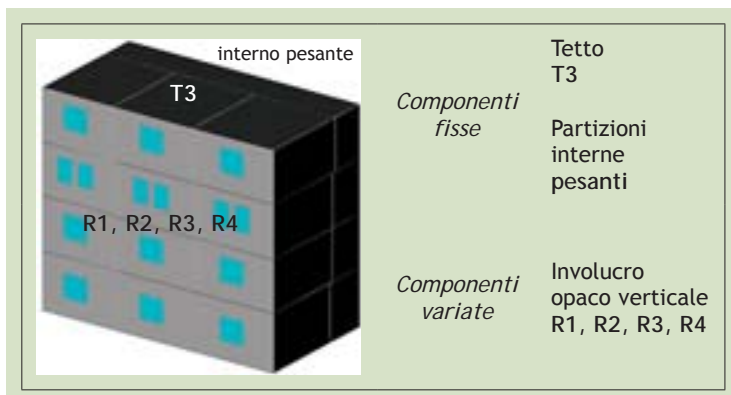


Fig. 14 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alle tabb. XXI e XXII.

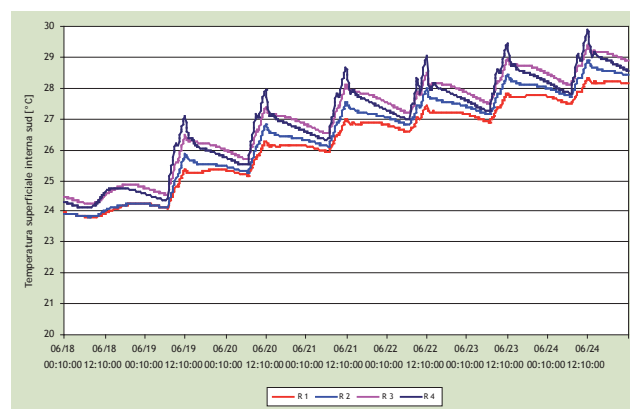
tipo R4 (elevata inerzia interna valore molto basso di C_{ip}), che registra valori di temperatura superficiale più elevati (tab. XXI).

Analoghe considerazioni possono essere effettuate per il caso di studio di edilizia ad uso residenziale (tab. XXII).

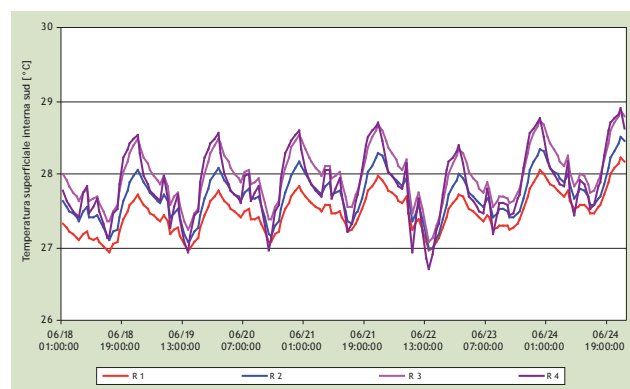
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y_{ie}) E CAPACITÀ TERMICA AREICA INTERNA PERIODICA (C_{ip})

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,

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).



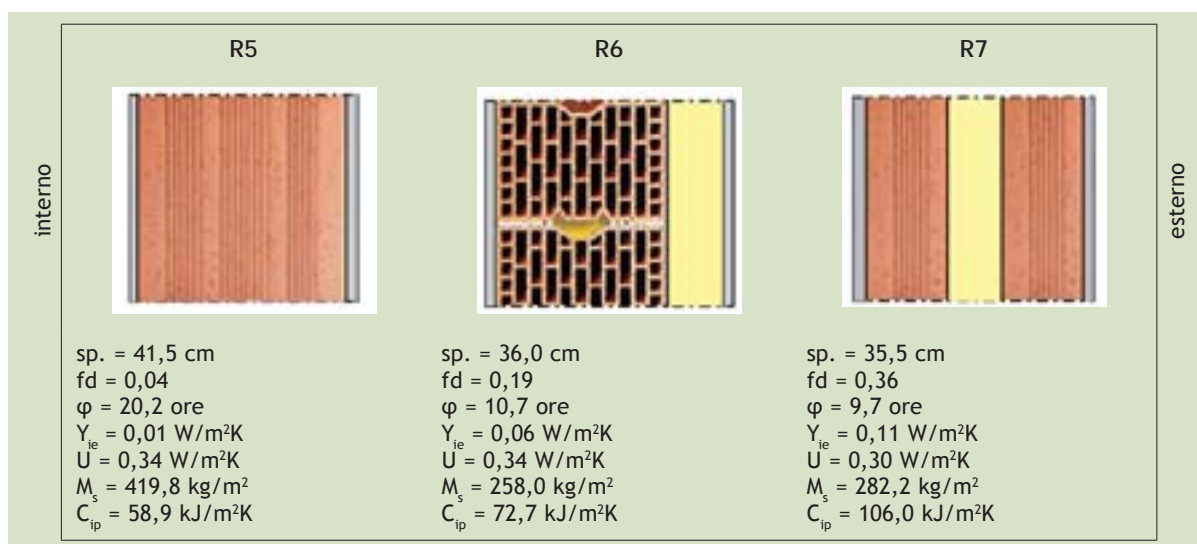


Fig. 15 - Pareti reali a confronto che rispettano i limiti proposti.

ovvero il limite proposto nell'ipotesi di un aggiornamento normativo.

Con tale valore, tra le pareti analizzate, 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 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 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 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.

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 fun-

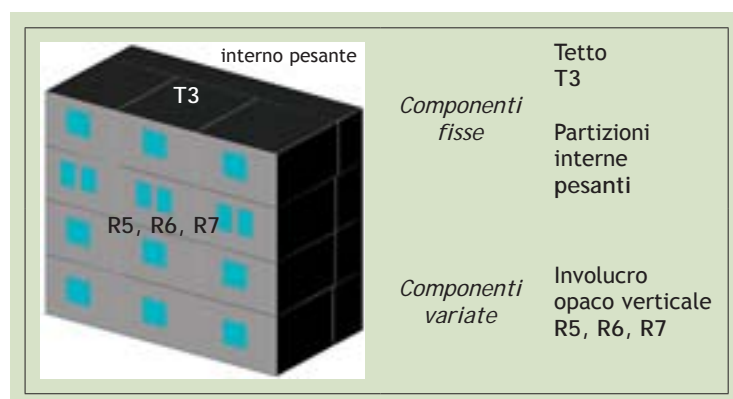


Fig. 16 - Schema delle variazioni effettuate al modello relativo alla tab. XXIII.

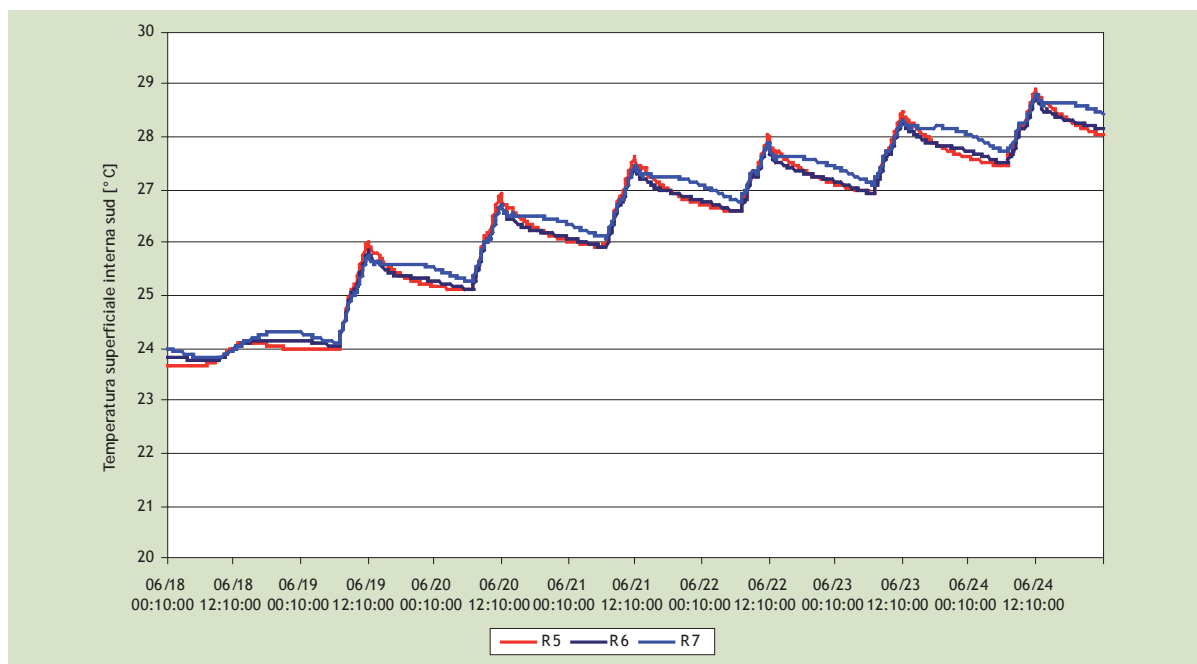
zione del valore di trasmittanza termica periodica Y_{ie} ($\leq 0,12$ W/m²K). I risultati ottenuti permettono di elaborare la seguente proposta che individua coppie $Y_{ie} - C_{ip}$ a cui corrispondono analoghe risposte di comfort abitativo in fase estiva (tab. XXIV).

CONSIDERAZIONI A MARGINE SULL'ASPETTO IGRO-METRICO

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.

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.



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 abbiamo formulato una nostra proposta in tal senso.

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, 10-12 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, BE-MA 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.

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]
$Y_{ie} \leq 0,04$	$C_{ip} \geq 50$
$0,04 < Y_{ie} \leq 0,08$	$C_{ip} \geq 70$
$0,08 < Y_{ie} \leq 0,12$	$C_{ip} \geq 90$