

Studio del comportamento estivo di una serie di edifici NZEB al variare della soluzione tecnica adottata per le pareti verticali

Lavoro svolto nell'ambito della convenzione di ricerca stipulata, in data 26 luglio 2017, tra DICAR (Politecnico di Bari) e ABES (ASSOBETON - GM Calcestruzzo Aerato Autoclavato).

Responsabile dello studio: Prof. Ing. Pietro Stefanizzi – Politecnico di Bari

Sintesi a cura di: Ing. Alessandro Miliani, Arch. Andrea Riva – associati ASSOBETON.

IMPOSTAZIONE DELLO STUDIO

Tipologie edilizie

La verifica è stata condotta sulle seguenti tipologie edilizie:

- A. residenziale - bifamiliare;
- B. residenziale - singolo appartamento in condominio;
- C. ufficio;
- D. scuola.

E' stata fatta un'analisi della prestazione termo-energetica di ciascun edificio con il software Termolog EpiX8 al fine di individuarne l'effettiva classificazione dell'involucro a livello NZEB. Successivamente sono state condotte le simulazioni dinamiche.

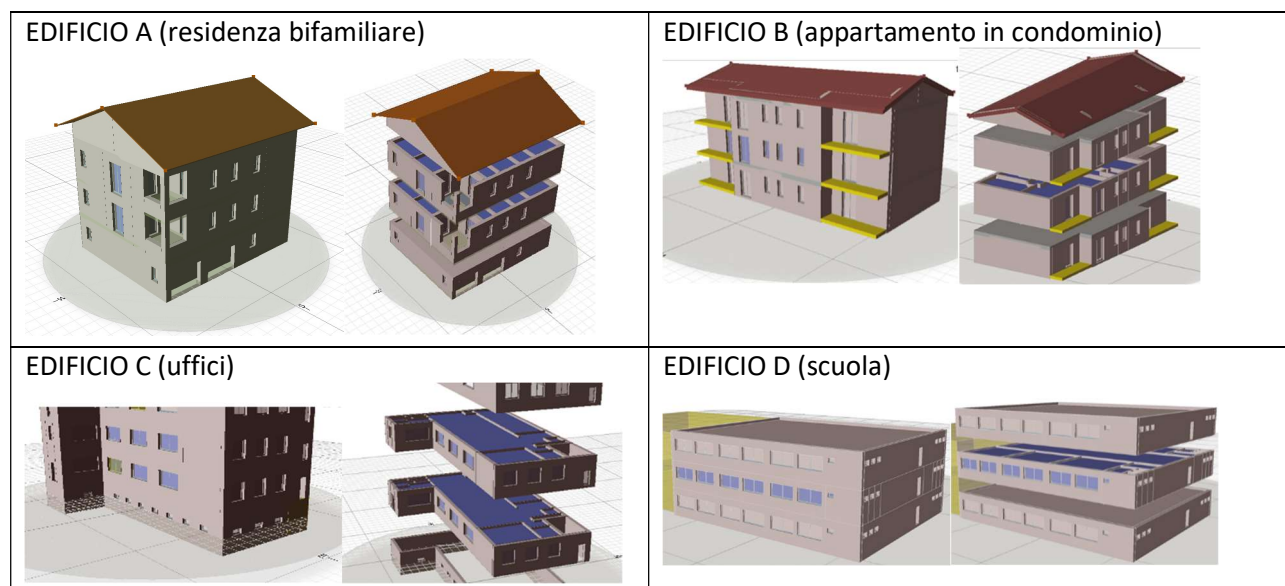
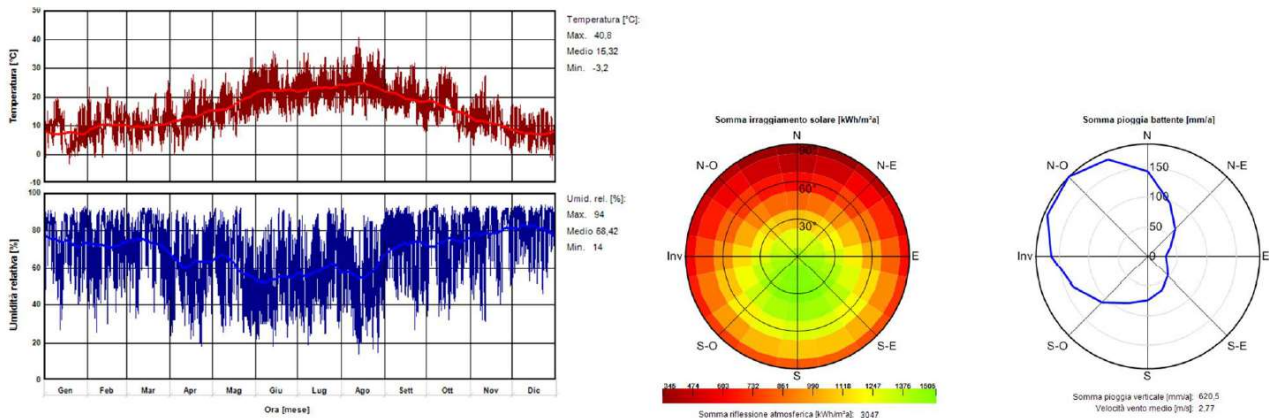


Figura 1. Modello 3D, in Termolog EpiX8, degli edifici analizzati.

Zone climatiche

Gli edifici analizzati sono stati ambientati a Bari, località ricadente nella zona climatica C, e a Milano, zona climatica E. L'analisi con WUFI Plus, considerando anche la distribuzione di umidità nell'aria e nell'involucro, richiede dei file climatici orari completi dell'informazione sull'intensità di pioggia nelle località analizzate. Di

seguito dei grafici riassuntivi dei dati orari di temperatura, umidità relativa, irraggiamento solare e pioggia battente contenuti nel file climatico di una delle località prese in considerazione (Bari).



Apporti interni

La scelta di diverse tipologie edilizie (residenziale, scuola, uffici) ha la finalità di verificare il comportamento estivo di edifici con diverse tipologie di apporti interni. È stato utilizzato un profilo convenzionale degli apporti interni così come definito nella norma UNI TS 11300-1:2014. La norma fornisce valori tipici degli apporti interni medi per diverse destinazioni d'uso, applicabili sia in condizioni invernali che estive.

Per gli edifici A e B (residenziali) si è fatto riferimento al prospetto 14 della UNI TS 11300-1 per quanto riguarda la produzione oraria di calore da occupanti e apparecchiature. L'apporto di vapore d'acqua è stato definito in modo da avere un totale di 250 g/h (come previsto dalla norma per edifici di categoria E.1-1 e E.1-2). Per l'edificio C (uffici) si è fatto riferimento al prospetto 15 della UNI TS 11300-1 ed al prospetto E.3 per la produzione di vapore acqueo. Per l'edificio D (scuola) si è fatto riferimento al prospetto E.3 della UNI TS 11300-1.

Ventilazione e ricambi d'aria

La ventilazione è stata ipotizzata naturale con i tassi riportati in tabella 1.

	Stagione riscaldamento		Stagione raffrescamento	
	Orari	Vol/h	Orari	Vol/h
Edifici A-B	00:00-24:00	0,5	07:00-19:00 19:00-7:00	0,3 2,5
Edifici C-D	7:00-18:00 18:00-7:00	1,6 0,5	7:00-18:00 18:00-7:00	1,6 2,5

Tabella 1. Tassi di ricambio aria per ventilazione naturale.

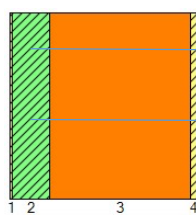
Strutture trasparenti

Per le finestre sono state adottate due tipologie di vetratura. Un vetro doppio con aria, con una lastra basso-emissiva per la zona climatica C ($U_g = 1,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) e un vetro triplo con aria, con una lastra basso-emissiva per la zona climatica E ($U_g = 1,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Nell'edificio C (Uffici) e nell'edificio D (Scuola) le vetrate sono: doppio vetro con aria, con lastra interna basso-emissiva e lastra esterna a riflessione solare ($U_g = 1,63 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), in zona C (Bari); triplo vetro con argon, con lastra interna basso-emissiva e lastra più esterna a riflessione solare ($U_g = 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), in zona E (Milano).

Tipologie e caratteristiche chiusure opache a confronto

Le chiusure opache esterne costituenti l'involucro degli edifici analizzati sono riportate di seguito. Per la parete monostrato in calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) è stato scelto uno spessore commerciale minimo attualmente in uso nel mercato Italiano di riferimento, con spessore sostanzialmente equivalente alle soluzioni in muratura tradizionale. Le proprietà termofisiche stazionarie e dinamiche sono state calcolate con

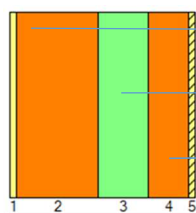
il software PAN (ver. 7.0.2.1) di ANIT sviluppato da TEP SRL attingendo dal database materiali basato sui dati materiali delle norme UNI 10355 e UNI 10351.



EPS: spessore 8cm, conduttività 0,036 W/mK, densità 18 Kg/m³

Laterizio alveolato: spessore 30cm, conduttività 0,319 W/mK, densità 693 Kg/m³

M1.1 - Muratura in laterizio alveolato con cappotto esterno in EPS

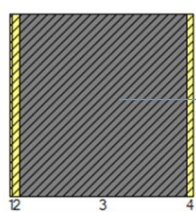


Laterizio forato: spessore 10cm, conduttività 0,37 W/mK, densità 780 Kg/m³

Fibra minerale: spessore 12cm, conduttività 0,044 W/mK, densità 35 Kg/m³

Laterizio forato: spessore 20cm, conduttività 0,33 W/mK, densità 765 Kg/m³

M1.22 - Doppia parete in laterizio con isolante fibroso minerale in intercapedine



AAC: spessore 36cm, conduttività 0,086 W/mK, densità 300 Kg/m³

M1.3 - Muratura monostrato in AAC densità 300 kg/m³

Caratteristiche chiusure opache

- Zona climatica C (Bari)

	M1.1C	M1.22C	M1.3C
Spessore [m]	0,400	0,450	0,395
Trasmittanza U [W/m ² K]	0,297	0,263	0,225
Massa superficiale (intonaci esclusi) Ms [kg/m ²]	209,3	235,2	108,0
Trasmittanza termica periodica Y _{IE} [W/m ² K]	0,046	0,060	0,035
Attenuazione f [-]	0,155	0,230	0,157
Sfasamento [ore]	10h 56'	11h 50'	14h 23'
Capacità termica interna areica C _{ip} [kJ/m ² K]	44,43	51,82	27,99
Ammetenza interna Y _{ii} [W/m ² K]	3,187	3,721	2,033
Coefficiente di assorbimento rad. solare (colore chiaro)	0,3	0,3	0,3

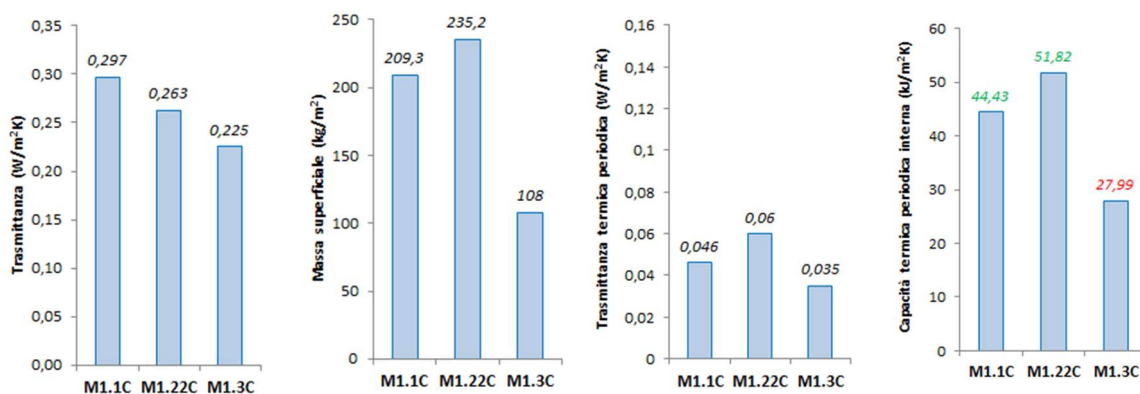


Figura 4 – Proprietà termofisiche delle pareti di involucro esterno opaco utilizzate in zona climatica C

- Zona climatica E (Milano)

	M1.1E	M1.22E	M1.3E
Spessore [m]	0,420	0,370	0,395
Trasmittanza U [W/m ² K]	0,255	0,256	0,225
Massa superficiale (intonaci esclusi) Ms [kg/m ²]	209,7	153,1	108,0
Trasmittanza termica periodica Y _{IE} [W/m ² K]	0,038	0,136	0,035
Attenuazione f [-]	0,147	0,531	0,157
Sfasamento [ore]	11h 7'	7h 55'	14h 23'
Capacità termica interna areica C _{ip} [kJ/m ² K]	44,29	52,21	27,99
Ammettenza interna Y _{ii} [W/m ² K]	3,186	3,665	2,033
Coefficiente di assorbimento rad. solare (colore chiaro)	0,6	0,6	0,6

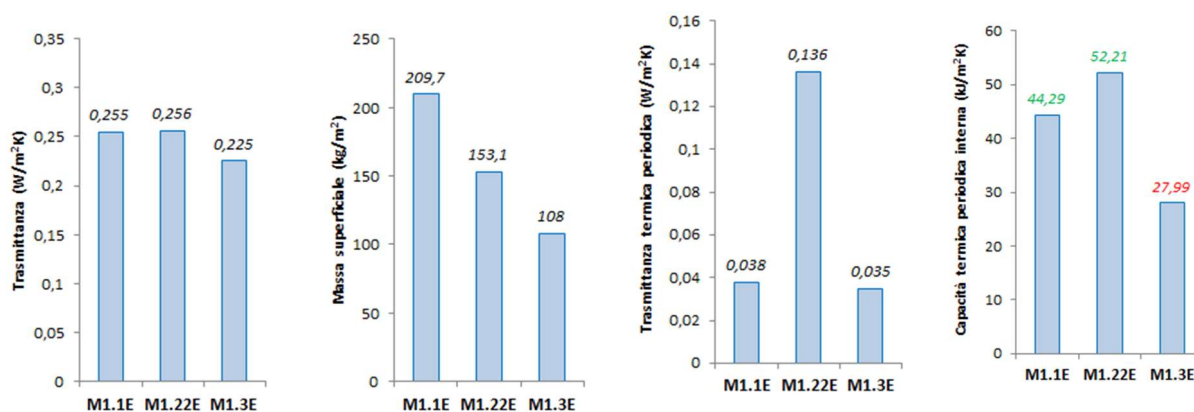


Figura 5 – Proprietà termofisiche delle pareti di involucro esterno opaco utilizzate in zona climatica E.

RISULTATI

A. Fabbisogno energetico invernale ed estivo degli Edifici

Il calcolo del fabbisogno per climatizzazione (riscaldamento invernale e raffrescamento estivo) degli edifici è stato condotto con una simulazione oraria dell'involucro edilizio con il software WUFI Plus, considerando un periodo di 6 anni al fine di raggiungere un regime termo-igrometrico stabilizzato delle pareti. I dati relativi al sesto anno sono stati utilizzati per determinare i fabbisogni per riscaldamento sensibile, raffrescamento sensibile, umidificazione e deumidificazione.

Nelle stesse ore in cui è attivo l'impianto di raffrescamento, si considera attivo un impianto per il controllo dell'umidità relativa. Esso interviene a umidificare l'aria per garantirne un'umidità relativa minima di 45% e a deumidificarla quando necessario per mantenere un'umidità relativa inferiore o uguale a 55%UR.

In totale sono stati considerati 24 scenari (4 edifici in 2 zone climatiche con 3 tipologie di parete esterna). In tabella 5 si riportano i risultati per l'edificio A (residenziale bifamiliare) nelle 2 zone climatiche C ed E, con dettagli riferiti alle stagioni invernale ed estiva.

		Edificio A (Bari)			Edificio A (Milano)		
		M1.1C	M1.22C	M1.3C	M1.1E	M1.22E	M1.3E
		44,4	51,8	28,0	44,3	52,2	28,0
INVERNO	1) Riscaldamento sensibile Q _{h,nd} [kWh/anno]	2457,94	2291,85	2174,96	3678,54	3690,44	3645,05
		+13,0%	+5,4%	-	+0,9%	+1,2%	-
	2) Umidificazione [kWh/anno]	34,87	42,63	39,63	343,87	347,00	360,50
		-12,0%	+7,6%	-	-4,6%	-3,7%	-
	3) Deumidificazione [kWh/anno]	488,13	445,23	453,34	601,01	603,77	577,81
		+7,7%	-1,8%	-	+4,0%	+4,5%	-
	Totale riscaldamento Q _{h,tot} [kWh/anno]: 1)+2)+3)	2980,94	2779,70	2667,93	4623,42	4641,21	4583,37
	+11,7%	+4,2%	-	+0,9%	+1,3%	-	
	Delta costo totale riscaldamento [€/anno]	+17,54	+6,74	-	+0,13	+1,62	-

		Edificio A (Bari)			Edificio A (Milano)		
		M1.1C	M1.22C	M1.3C	M1.1E	M1.22E	M1.3E
		44,4	51,8	28,0	44,3	52,2	28,0
ESTATE	4) Raffrescamento sensibile Q _{c,nd}	1276,34	1300,43	1337,91	2254,23	2270,34	2243,50
		-4,6%	-2,8%	-	+0,5%	+1,2%	-
	5) Umidificazione [kWh/anno]	40,98	40,35	41,27	74,36	71,31	65,31
		-0,7%	-2,2%	-	+13,9%	+9,2%	-
	6) Deumidificazione [kWh/anno]	878,54	861,48	875,95	878,54	809,03	840,38
		+0,3%	-1,7%	-	+4,5%	-3,7%	-
	Totale raffrescamento Q _{c,tot} [kWh/anno]: 4)+5)+6)	2195,87	2202,27	2255,12	3207,14	3150,68	3149,18
	-2,6%	-2,3%	-	+1,8%	+0,0%	-	
	Delta costo totale raffrescamento [€/anno]	-3,99	-3,65	-	+5,07	+0,64	-
	Fabbisogno totale annuo Q _{h,tot} + Q _{c,tot}	5176,81	4981,97	4923,05	7830,55	7791,89	7732,55
		+5,2%	+1,2%	-	+1,3%	+0,8%	-
	Delta costo totale annuo [€]	+13,55	+3,09	-	+5,21	+2,27	-

Tabella 5. Fabbisogni per l'edificio A collocato a Bari e a Milano in funzione del tipo di parete esterna.

Il massimo scostamento percentuale del fabbisogno totale per raffrescamento, rispetto all'involucro con parete M1.3 (in AAC) è stato registrato per la parete M1.1 (laterizio con cappotto esterno in polistirene), nell'edificio A collocato a Bari (-2,6%). Da osservare che nella stagione di riscaldamento per lo stesso edificio con parete M1.1 si ha un incremento del fabbisogno per climatizzazione pari a circa 313,01 kWh/anno.

Considerando il bilancio energetico annuale, le pareti tradizionali in laterizio, pur caratterizzate da una $C_{p,i}$ maggiore di $40 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, implicano un maggior costo annuo di climatizzazione inferiore a 15 € in entrambe le zone climatiche.

B. Potenza di picco in riscaldamento e in raffrescamento per l'edificio A

In aggiunta al fabbisogno energetico è stata valutata anche la potenza di picco (sensibile) di riscaldamento (Ph,max) e raffrescamento (Pc,max), parametro importante per la scelta progettuale del climatizzatore e potenzialmente influenzabile dall'inerzia termica della muratura. In fig. 6 si confrontano, per l'edificio A, le prestazioni delle due pareti in laterizio rispetto alla parete monostrato in calcestruzzo aerato AAC (M1.3C).

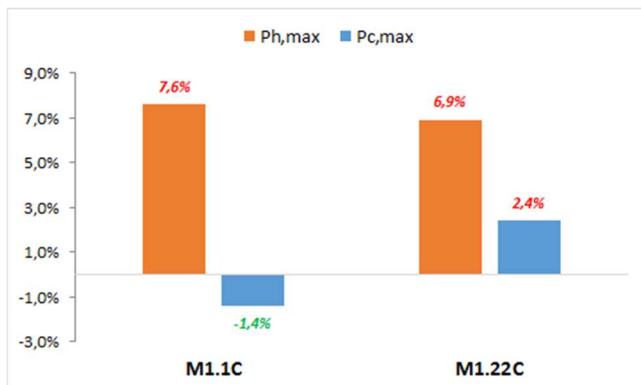


Figura 6. Variazione percentuale della potenza di picco, totale per i due piani dell'edificio A, richiesta in funzione del tipo di parete rispetto alla parete di riferimento M1.3C in AAC ($Ph,max=5834 \text{ W}$; $Pc,max=1582 \text{ W}$).

Dal grafico si nota che la parete in laterizio con cappotto (M1.1C), caratterizzata da una $C_{p,i}$ di $44,4 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, fa registrare un incremento significativo di 7,6% della potenza di picco in riscaldamento rispetto alla parete M1.3C in AAC caratterizzata da un valore di $C_{p,i}$ nettamente inferiore.

Una interessante informazione si può avere dall'analisi della correlazione tra potenza di picco in raffrescamento e capacità termica interna periodica della parete riportate in figura 7.

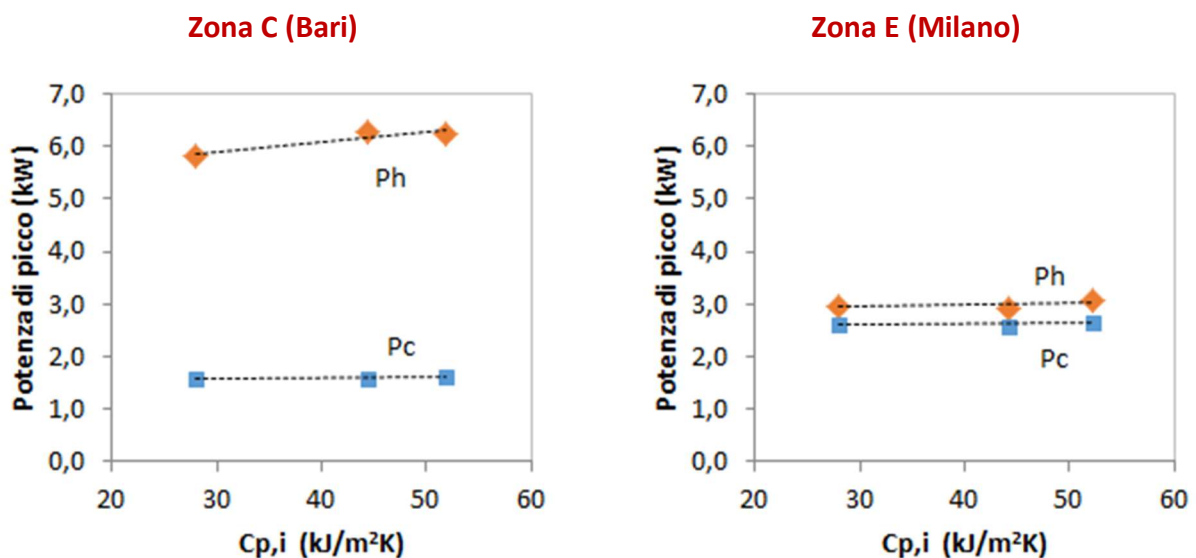
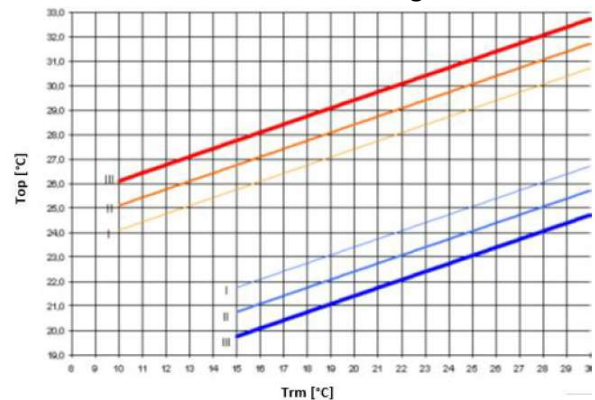


Figura 7. Potenza di picco in riscaldamento (Ph,max) e raffrescamento (Pc,max) per l'edificio A, in funzione della capacità termica interna periodica della parete esterna.

C. Valutazione del comfort interno mediante calcolo della temperatura operante

La valutazione del Comfort estivo, è stata anche effettuata secondo il Metodo A riportato nel Annex F della norma UNI EN 15251:2008. In tale norma il range di comfort è definito in funzione della categoria di edificio:

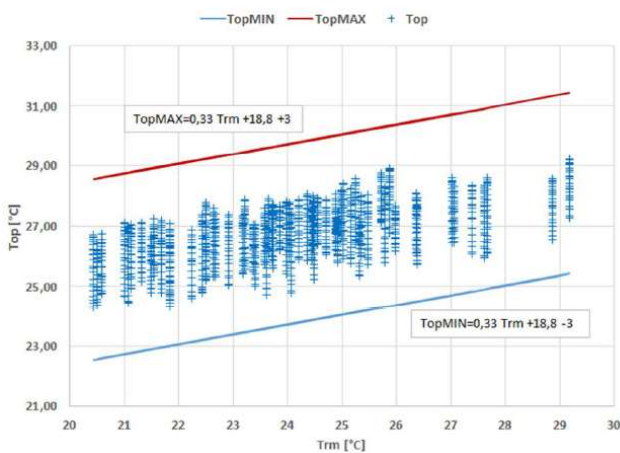
Category	Explanation
I	High level of expectation and is recommended for spaces occupied by very sensitive and fragile persons with special requirements like handicapped, sick, very young children and elderly persons
II	Normal level of expectation and should be used for new buildings and renovations
III	An acceptable, moderate level of expectation and may be used for existing buildings
IV	Values outside the criteria for the above categories. This category should only be accepted for a limited part of the year



Rispetto al metodo previsto dal DM-CAM, che prende in considerazione la temperatura operante interna media nel locale più sfavorito nel giorno più caldo dell'anno, questo metodo valuta la temperatura operante in tutta la stagione calda, correlandola alla storia termica dell'ambiente esterno.

L'analisi termo-igrometrica condotta con WUFI-Plus, in assenza di impianto di climatizzazione, ha consentito di valutare i valori orari della temperatura operante media nell'edificio. In riferimento al periodo più caldo (1 luglio-31 agosto) si riportano in figura 8 i valori di temperatura operante in funzione del valore di temperatura esterna media mobile ("running mean temperature", Trm) relativi alla parete monostrato M1.3. in calcestruzzo aerato AAC.

Zona C (Bari)



Zona E (Milano)

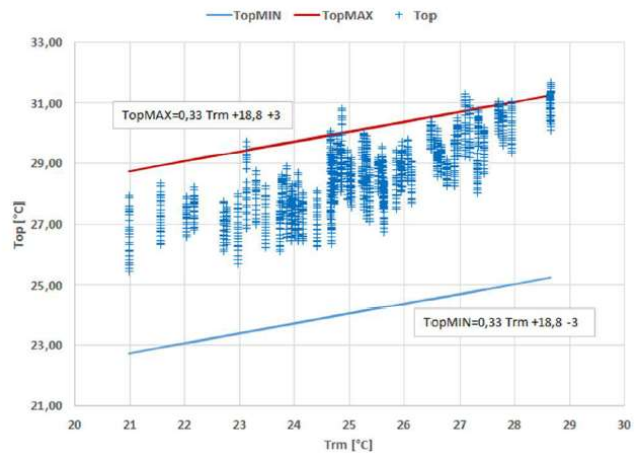


Figura 8: Temperatura operante (1 luglio -31 agosto) per edificio A con parete M1.3 in calcestruzzo aerato

Il grafico evidenzia come per l'edificio A, in zona C, utilizzando pareti in calcestruzzo aerato AAC non vengono mai superate le temperature operanti massime di comfort e pertanto non vi sia mai surriscaldamento interno. In zona E invece il superamento dei limiti si riscontra solamente in alcune sporadiche occasioni.

Questo metodo è stato applicato a tutte le tipologie costruttive, per i vari edifici in entrambe le zone climatiche. Dal confronto dei valori calcolati con i valori minimo e massimo della temperatura operante relativa all'edificio di categoria II, si è potuto valutare la percentuale delle eventuali ore di surriscaldamento, cioè le ore in cui la temperatura operante supera il valore massimo previsto dalla norma.

Da questo confronto emerge che per l'edificio A, in zona C nessuna parete mostra ore di surriscaldamento (cioè temperatura operante superiore al limite massimo della banda di comfort). In zona E invece, la peggiore performance è a carico dell'edificio caratterizzato dalla maggiore capacità termica globale simulato con una

parete esterna a cassa vuota isolata di tipo M1.22E caratterizzata dalla massima capacità areica interna (52,21 kJ/m²K), con 3,2% di ore di surriscaldamento. Al contrario l'edificio contraddistinto dalla minore capacità termica globale, vale a dire quello con parete esterna monostrato in AAC di tipo M1.3E (27,99 kJ/m²K), presenta solo 2,6% di ore di surriscaldamento.

Questo conferma ancora una volta che non c'è relazione scientifica tra i livelli di Cip delle chiusure opache e le reali condizioni di benessere interno.

Conclusioni dello studio sulle chiusure verticali opache per nuove costruzioni

L'analisi dinamica del comportamento termo-igrometrico delle tre tipologie di chiusure verticali opache ha portato a risultati interessanti ai fini dell'individuazione delle proprietà dell'involucro più influenti sulla prestazione termo-energetica dell'involucro edilizio, in termini sia di consumo per la climatizzazione invernale/estiva che di comfort termo-igrometrico nella stagione estiva in assenza di impianto di climatizzazione.

La principale conclusione dello studio è che la prescrizione contenuta nel DM 11.10.2017 (CAM) sul valore di capacità termica areica interna periodica $Cip \geq 40 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ della parete opaca esterna, non è giustificabile per edifici di nuova costruzione di livello energetico "NZEB", oltre a non incidere minimamente sul benessere estivo di edifici soprattutto quando essi sono dotati di ampie superfici vetrate.

I limiti prestazionali definiti nel DM Requisiti Minimi per gli edifici NZEB, sono sufficienti ad assicurare condizioni in opera di elevata efficienza energetica dell'involucro edilizio e comfort termo-igrometrico del sistema edificio-impianto, sia per edifici di nuova costruzione che per edifici esistenti, anche senza il rispetto di ulteriori parametri quali il Cip.

I risultati ottenuti dal calcolo dei fabbisogni energetici invernali ed estivi portano a concludere che in termini energetici, per tutte le quattro tipologie edilizie studiate (villetta bifamiliare, appartamento in condominio, uffici, scuola), le pareti opache tradizionali con alta capacità termica periodica interna, fanno registrare consumi per riscaldamento invernale e raffrescamento estivo superiori a quelli richiesti in presenza di parete omogenea (M1.3) con capacità termica periodica molto inferiore.

L'analisi del comfort estivo in assenza di impianto dimostra come le variazioni della temperatura operante interna tra le diverse tipologie di pareti nel giorno più caldo, si attestano su differenze di meno di mezzo grado. Le pareti considerate nello studio offrono pertanto condizioni di comfort interno pressoché identiche. Nella maggior parte di casi analizzati sono state ottenute con le simulazioni dinamiche zero ore di surriscaldamento per tutte le pareti. Nei pochi casi in cui sono state riscontrate delle ore di surriscaldamento, il loro valore non era correlato né con la capacità termica interna periodica della parete esterna né con la capacità termica totale dell'edificio considerato.

Alla luce dei risultati ottenuti con l'analisi dinamica oraria del comportamento termo-igrometrico si traggono le conclusioni seguenti:

- 1) La capacità termica areica interna periodica non determina l'effettivo comportamento dinamico in opera dell'involucro edilizio. Involucri con bassa capacità termica areica interna presentano prestazioni, in termini di fabbisogno per climatizzazione e di comfort termo-igrometrico, equivalenti se non superiori, a quelle di involucro di più elevata capacità areica interna periodica;
- 2) Un'attenta progettazione dei sistemi schermanti (fissi/mobili) può assicurare condizioni estive di comfort ottimali, stante la loro sensibile influenza sulla temperatura operante interna sopra evidenziata;

- 3) La prescrizione contenuta nel DM 11.10.2017 (CAM) sulla capacità termica periodica interna della parete opaca esterna, non è giustificabile. I limiti prestazionali definiti nel DM 26.06.2015 Requisiti Minimi per gli edifici NZEB, sono sufficienti ad assicurare condizioni in opera di elevata efficienza energetica e comfort termo-igrometrico del sistema edificio-impianto con un corretto controllo dell'apporto solare.

Vista la finalità dei CAM di assicurare prestazioni ambientali al di sopra della media del settore, si ritiene che l'unico requisito ancora mancante nel panorama legislativo italiano che potrebbe essere inserito nei CAM è costituito dalla tenuta all'aria dell'involucro edilizio.

L'ermeticità dell'involucro è fondamentale per garantire la reale efficienza di edifici a energia quasi zero (gli spifferi implicano un maggiore consumo di circa 5-10 kWh/m²anno che non vengono considerati in fase progettuale nel calcolo delle dispersioni energetiche utilizzato per il dimensionamento degli impianti di riscaldamento).

Tale requisito è obbligo di legge in numerosi paesi della comunità europea (Francia, Svizzera, Germania, Austria, Belgio, Inghilterra ecc.) e in alcune province italiane quali Trento e Bolzano, in quanto influenza le dispersioni energetiche (corretto bilanciamento involucro/impianto), la possibile formazione di condense interstiziali che possono compromettere il benessere e la salubrità dell'aria indoor (soprattutto in ambito riqualificazione energetica con isolamento interno di edifici esistenti), nonché incidere in modo sensibile sulla durabilità dei materiali da costruzione.