

Valutazione della temperatura operativa in edifici a diversa inerzia termica. Come la “massa” fa risparmiare energia

Mediante l'applicazione del metodo di calcolo dinamico proposto dalla norma UNI EN ISO 52016-1 è stato studiato l'andamento della temperatura operativa al variare dell'inerzia termica dell'involucro edilizio e dell'intermittenza dell'impianto nel caso di residenze unifamiliari realizzate attraverso demolizione e ricostruzione, sfruttando le agevolazioni fiscali del Superbonus 110%.

Introduzione

Attraverso l'utilizzo del metodo di calcolo dinamico orario definito dalla norma UNI EN ISO 52016-1:2018⁽¹⁾ sono state determinate la **temperatura operativa** e la potenza che l'impianto deve fornire nei casi studio considerati. Per ogni località sono state progettate due configurazioni di edificio: una massiva, costituita da elementi caratterizzati da **elevata massa superficiale e ridotta trasmittanza termica periodica**, e una leggera, costituita da elementi caratterizzati da ridotta massa superficiale e elevata trasmittanza termica periodica. La massa superficiale M_s (kg/m^2) e la trasmittanza termica periodica Y_{IE} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) sono richiamate dal vigente D.M. 26/06/2015⁽²⁾. Per le componenti opache orizzontali/inclinate occorre verificare che la Y_{IE} sia inferiore a $0.18 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, mentre per le pareti verticali (escluse quelle del quadrante nord, nord-est e nord-ovest) occorre verificare che M_s sia superiore a $230 \text{ kg}/\text{m}^2$ o in alternativa che Y_{IE} sia inferiore a $0.10 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Tali parametri devono essere verificati solo per le località ricadenti nelle zone climatiche differenti dalla F, nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale $I_{m,s}$ nel mese di massima insolazione è maggiore o uguale a $290 \text{ W}/\text{m}^2$.

Le stratigrafie utilizzate, al fine di poter usufruire degli attuali incentivi fiscali (Superbonus 110%, di cui al Decreto Rilancio), sono state progettate rispettando i valori di trasmittanza termica U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) dichiarati nell'allegato E, Tab.1 del Decreto 6 agosto 2020⁽³⁾. Con lo scopo di valutare l'influenza della sola inerzia termica sui risultati, gli elementi costituenti l'edificio sono stati progettati a parità di trasmittanza termica per le due tipologie di involucro proposte. L'obiettivo di questo studio è individuare il **diverso comportamento tra la struttura massiva e la leggera** in termini di variazione di temperatura operativa e di potenza richiesta dall'impianto.

Caso Studio

Il caso studio riguarda un edificio residenziale unifamiliare di due piani con un locale sottotetto non riscaldato. Le località considerate e le rispettive zone climatiche definite dal DPR 412/1993⁽⁴⁾ sono: Milano, zona climatica E, Roma, zona climatica D, e Palermo, zona climatica B. Il **metodo di calcolo dinamico orario** è stato utilizzato per la valutazione dell'andamento della temperatura operativa e per il calcolo della potenza necessaria per il raggiungimento del set-point, mentre il calcolo semi-stazionario proposto dalle UNI/TS 11300⁽⁵⁾ è stato utilizzato per verificare il rispetto degli attuali limiti vigenti riportati nel D.M. 26/06/2015.

La temperatura operativa, essendo calcolata come media aritmetica tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante, risulta fortemente influenzata dalla radiazione entrante dalle superfici vetrate. Si sceglie quindi di modellare ogni stanza come una singola zona termica e di prendere in considerazione per le analisi quella maggiormente esposta a radiazione, ovvero la camera matrimoniale a sud-ovest. Tutte le configurazioni di edificio proposte rispettano i limiti normativi vigenti, ad eccezione dell'involucro leggero che per Roma non verifica la M_s e la Y_{IE} minima.

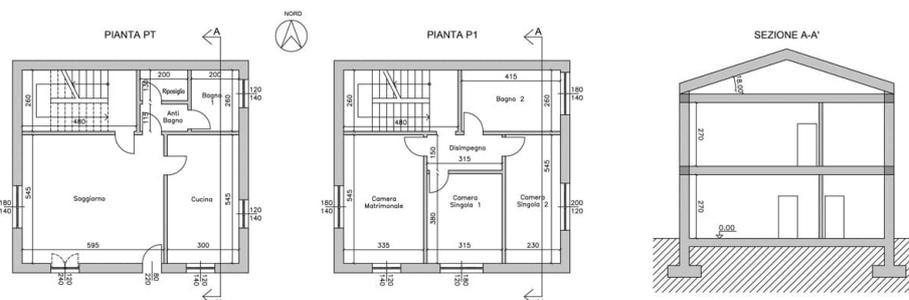


Fig. 1 – Planimetrie Piano Terra e Primo Piano, Sezione A-A'.

Descrizione edificio

L'edificio [fig. 1] è composto al piano terra da un bagno, un ripostiglio, una cucina e un soggiorno, mentre al piano primo sono presenti due camere singole, una camera matrimoniale, un bagno e un disimpegno. L'altezza netta di interpiano è pari a 2,70 m. Il vano scala e la zona di sottotetto sono considerate zone termiche non riscaldate. Per ogni località sono state progettate due configurazioni di edificio, uno massivo e uno leggero. Le superfici vetrate sono state dimensionate nel rispetto del fattore di luce diurna calcolato secondo D.M. Sanità del 05/07/1975⁽⁶⁾ e della UNI 10840:2007⁽⁷⁾.

Tutte le strutture utilizzate sono state progettate rispettando i valori di trasmittanza termica limite dichiarati nell'allegato E, Tab.1 del Decreto 6 agosto 2020⁽³⁾, al fine di poter usufruire degli attuali incentivi fiscali (Superbonus 110%). Il solaio controterra viene mantenuto fisso tra struttura massiva e leggera, mentre le caratteristiche di tutti gli altri elementi variano a eccezione della trasmittanza termica. La trasmittanza termica è stata mantenuta costante al fine di valutare solo **l'incidenza dell'inerzia termica sulla variazione della temperatura operativa** [tab. 1].

In fig. 2 è riportata una rappresentazione grafica delle soluzioni esterne di involucro verticale. La parete massiva è stata realizzata in laterizio alleggerito in pasta, mentre quella leggera in pannelli di fibrogesso con struttura portante in acciaio.

Tab. 1 – Caratteristiche termo-fisiche delle strutture utilizzate.

Parete Esterna						
	Massa Superficiale [kg/m ²]		Trasmittanza Termica Periodica [W/m ² K]		Trasmittanza Termica [W/m ² K]	
	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera
Milano	227.80	52.93	0.007	0.114	0.22	0.22
Roma	228.86	50.43	0.007	0.148	0.24	0.24
Palermo	274.85	44.18	0.018	0.288	0.36	0.36
Solaio di Sottotetto						
	Massa Superficiale [kg/m ²]		Trasmittanza Termica Periodica [W/m ² K]		Trasmittanza Termica [W/m ² K]	
	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera
Milano	363.60	70.50	0.038	0.195	0.24	0.24
Roma	363.00	68.25	0.028	0.217	0.27	0.27
Palermo	362.10	63.25	0.064	0.325	0.37	0.37
Solaio Controtterra						
	Massa Superficiale [kg/m ²]		Trasmittanza Termica Periodica [W/m ² K]		Trasmittanza Termica [W/m ² K]	
	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera
Milano	1370.60	1370.60	0.007	0.007	0.25	0.25
Roma	1370.30	1370.30	0.007	0.007	0.27	0.27
Palermo	1369.40	1369.40	0.010	0.010	0.35	0.35
Strutture Costanti per Tutte le Località						
	Massa Superficiale [kg/m ²]		Trasmittanza Termica Periodica [W/m ² K]		Trasmittanza Termica [W/m ² K]	
	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera	Struttura Massiva	Struttura Leggera
Tramezzi	111.60	71.07	0.673	1.350	1.13	1.43
Solaio Interpiano	403.80	339.20	0.039	0.156	0.35	0.48
Copertura	427.20	29.18	0.120	0.620	0.70	0.68

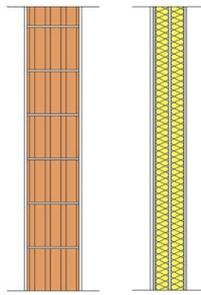


Fig. 2 – Rappresentazione grafica delle pareti esterne utilizzate.

Dati climatici

La norma UNI EN ISO 52016-1⁽¹⁾ utilizza dati climatici definiti su base oraria, quali temperatura dell'aria esterna, umidità relativa, irradianza solare diretta e diffusa e velocità del vento, calcolati mediante la norma UNI 10349-1:2016⁽⁸⁾.

Poiché l'analisi della temperatura operativa coinvolge solo la camera matrimoniale, nel periodo tra il 1° giugno e il 30 settembre si sono calcolati i carichi solari entranti in tale zona termica. Il valore del carico solare a Roma è circa il doppio rispetto a quello calcolato nelle altre due località [tab. 2], ciò evidenzia quanto il dato climatico inerente alla radiazione solare sia molto più severo per Roma rispetto alle altre due località.

Tab. 2 – Carichi solari attraverso le superfici trasparenti calcolati nel periodo 1° giugno – 30 settembre.

Carichi Solari su Superfici Trasparenti (Camera Matrimoniale)		
[kW]		
Milano	Roma	Palermo
364.11	653.24	278.02

Profili di utilizzo degli impianti

Per il periodo invernale la temperatura di set-point è stata fissata a 20°C, l'accensione dell'impianto di riscaldamento rispetta i limiti riportati nel DPR 412/1993⁽⁴⁾ in funzione della diversa zona climatica, ovvero:

- Zona E (Milano): 14 ore giornaliere, dal 15 ottobre al 15 aprile
- Zona D (Roma): 12 ore giornaliere, dal 1° novembre al 15 aprile
- Zona B (Palermo): 8 ore giornaliere, dal 1° dicembre al 15 marzo

L'impianto di riscaldamento viene acceso utilizzando il numero di ore massimo consentito, secondo le seguenti fasce orarie:

- Milano: 6:00-12:00, 17:00-23:00
- Roma: 6:00-11:00, 18:00-23:00
- Palermo: 7:00-10:00, 19:00-22:00

La variazione di temperatura operativa nel periodo invernale è stata studiata utilizzando due configurazioni di impianto: a potenza infinita, ovvero l'impianto è sempre in grado di fornire la potenza necessaria per raggiungere e mantenere la temperatura di set-point, e a potenza ridotta. Tale potenza è stata ridotta del 50% rispetto alla massima potenza impiegata nella camera matrimoniale durante il periodo invernale. Quest'ultima configurazione di impianto è stata utilizzata per valutare il tempo di ripresa associato alle due tipologie di strutture e il fattore di carico a cui l'impianto lavora.

Per il periodo estivo la temperatura di set-point è stata fissata a 26°C con configurazione di impianto a potenza infinita. Poiché a livello nazionale non è presente una normativa che definisce i periodi e le ore di accensione dell'impianto di raffrescamento, esso viene considerato acceso in ogni località dal 1° giugno al 30 settembre dalle ore 11:00 alle ore 17:00.

Analisi Risultati

1 – Periodo Invernale, Potenza Infinita

L'analisi è stata realizzata nel giorno caratterizzato dalle temperature esterne più basse. Nelle fasi in cui l'impianto risulta acceso esso fornisce sempre la potenza necessaria per assicurare una temperatura operativa pari alla temperatura di set (20°C).

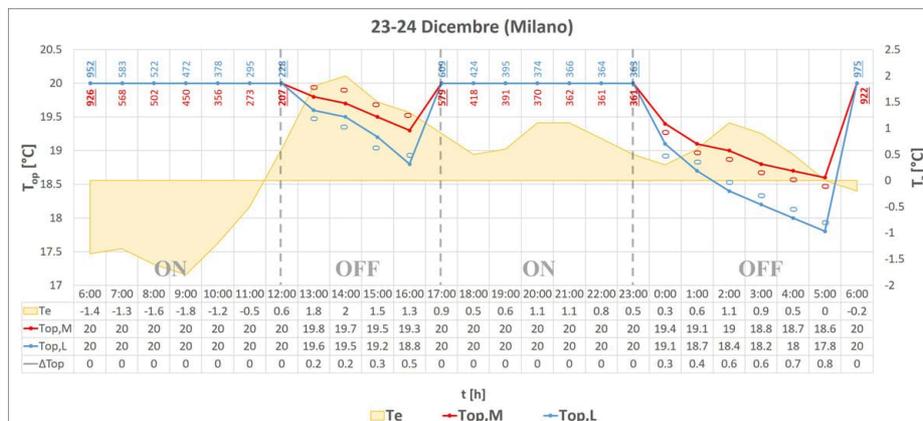


Fig. 3 – 1, Milano, variazione della temperatura operativa in funzione della temperatura esterna.

I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano la potenza (W) fornita dall'impianto per garantire la temperatura di set-point invernale.

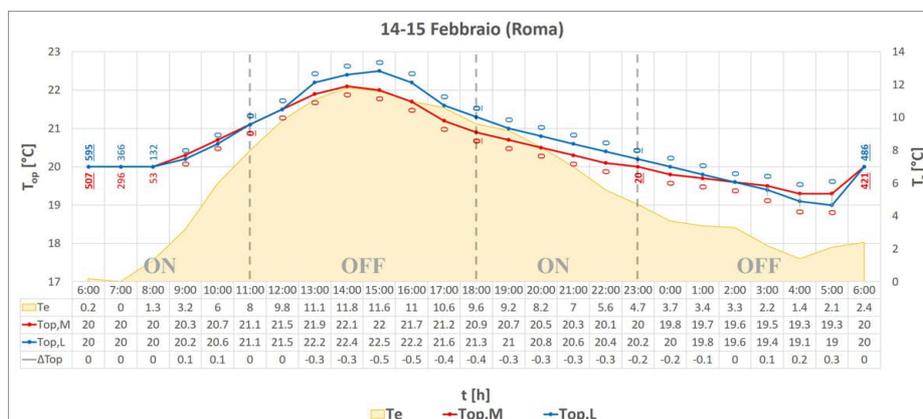


Fig. 4 – 1, Roma, variazione della temperatura operativa in funzione della temperatura esterna.

I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano la potenza (W) fornita dall'impianto per garantire la temperatura di set-point invernale.

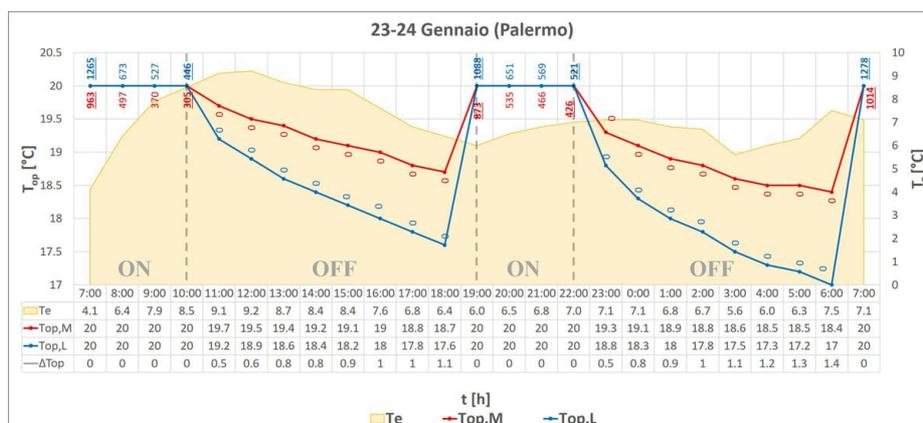


Fig. 5 – 1, Palermo, variazione della temperatura operativa in funzione della temperatura esterna.

I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano la potenza (W) fornita dall'impianto per garantire la temperatura di set-point invernale.

I grafici analizzati [figg. 3, 4, 5] riportano per ogni ora la temperatura operativa (asse y principale) e la potenza in W fornita dall'impianto (identificata nelle etichette) in funzione della variazione della temperatura esterna (asse y secondario). Le temperature operative per le località di Palermo [fig. 5] e Milano [fig. 3] seguono lo stesso andamento, mentre la variazione di temperatura operativa a Roma [fig. 4] risulta avere un comportamento diverso. Per la località di Roma si nota che nella maggior parte delle ore la temperatura operativa è superiore alla temperatura di set, per cui l'accensione dell'impianto non risulta necessaria [fig. 4]. In corrispondenza delle ore 14:00 [fig. 4], si ha contemporaneamente il picco massimo di temperatura esterna e di temperatura operativa della struttura massiva e leggera. Considerando il fenomeno dello sfasamento provocato dalle strutture opache, il picco della temperatura operativa difficilmente risulta allineato con il picco della temperatura massima esterna. Il picco massimo di temperatura operativa è causato dalla radiazione solare entrante dalle superfici vetrate [fig. 6]. Ricordiamo che i carichi solari di Roma risultano molto più alti rispetto alle altre due località. L'accumulo termico delle strutture massiva e leggera di Roma permette di non scendere mai sotto i 19°C nemmeno nelle ore notturne [fig. 4]. Ciò consente all'impianto di avere una bassa potenza di ripresa all'accensione. Analizzando i risultati di Milano [fig. 3] e Palermo [fig. 5] si nota che nei periodi di spegnimento dell'impianto la struttura leggera presenta una diminuzione della temperatura operativa maggiore rispetto alla struttura massiva. Ciò permette di affermare che il metodo dinamico della UNI EN ISO 52016-1⁽¹⁾ è capace di risentire della variazione dell'inerzia. Avendo un impianto con potenza infinita, la temperatura di set viene raggiunta nell'ora di accensione dell'impianto sia per la struttura leggera che per la struttura massiva, con l'unica differenza che **la potenza impiegata risulta essere maggiore nella struttura leggera**. La differenza di potenza tra le due strutture risulta meno evidente all'aumentare delle ore di accensione dell'impianto, fino quasi ad annullarsi per un impianto acceso 24h su 24h. Viceversa, maggiore è il numero di ore in cui l'impianto rimane spento, maggiore sarà il decadimento della temperatura operativa (soprattutto della struttura leggera) e maggiore sarà la potenza richiesta nella prima ora di accensione dell'impianto.

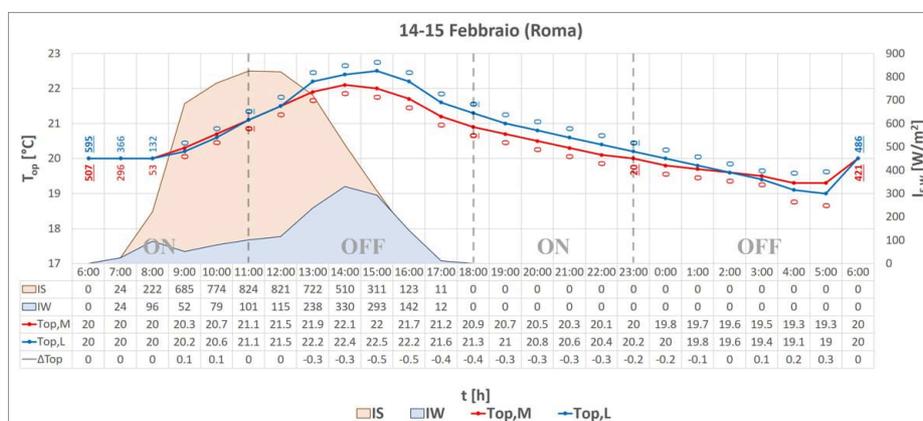


Fig. 6 - 1, Roma, variazione della temperatura operativa in funzione della radiazione solare.

I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano la potenza (W) fornita dall'impianto per garantire la temperatura di set-point invernale.

2 – Periodo Invernale, Potenza Ridotta

In questa analisi l'impianto fornisce una potenza ridotta del 50% rispetto alla potenza massima utilizzata durante il periodo invernale. Attraverso questa analisi è possibile determinare il tempo di ripresa associato alle due tipologie di strutture. Per tempo di ripresa si intende il tempo impiegato per raggiungere la temperatura di set dopo l'accensione dell'impianto. I grafici di riferimento riportano per ogni ora la temperatura operativa e il fattore di carico a cui sta lavorando l'impianto, in funzione della variazione della temperatura esterna. Il fattore di carico, associato a una certa ora, è dato dal rapporto tra la potenza fornita dal generatore in quell'ora e la massima potenza che esso è in grado di fornire.

In tutte le località [figg. 7, 8, 9], non fornendo sempre la massima potenza necessaria, non si riesce a raggiungere la temperatura di set-point nell'ora di accensione dell'impianto. Ciò significa che l'impianto impiegherà del tempo per portare l'ambiente alla temperatura di regime. Questo tempo aumenta all'aumentare del decadimento della temperatura operativa.

Confrontando l'andamento della temperatura operativa **si nota come la struttura massiva**, per tutte le località, **abbia un comportamento migliore**. Quest'ultima raggiunge, in alcuni intervalli di accensione dell'impianto, la temperatura di set-point in un tempo minore rispetto alla struttura leggera. Inoltre, negli intervalli dove entrambe le strutture raggiungono la temperatura di set-point nella stessa ora, **la struttura massiva richiede una potenza minore rispetto alla leggera**. È importante notare che i fattori di carico rimangono elevati anche nelle prime ore in cui l'impianto raggiunge la temperatura di set-point, questo risulta essere un aspetto importante nel caso di impianto a pompa di calore poiché quest'ultima raggiunge rendimenti elevati tanto più elevato è il fattore di carico. Si ricordi che il Superbonus 110% incentiva gli interventi inerenti all'impianto riguardanti l'installazione di pompe di calore.

Attraverso queste osservazioni è possibile affermare che **le condizioni migliori in termini di consumo, rendimento e comfort sono associate alla struttura massiva** che grazie alla maggior inerzia termica garantisce tempi di ripresa ridotti pur utilizzando un impianto di potenza contenuta.

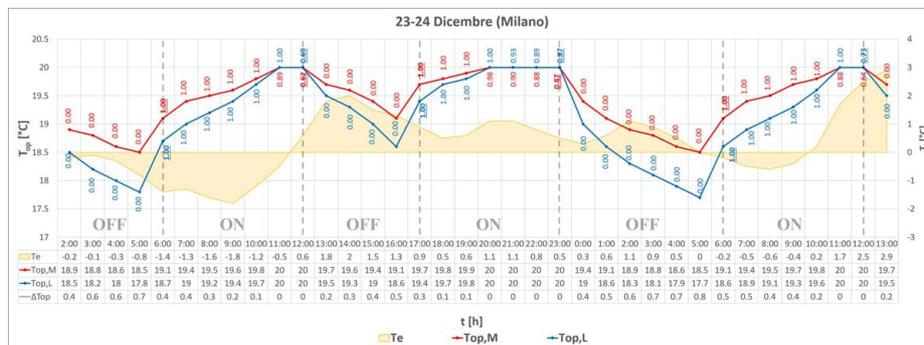


Fig. 7 – 2, Milano, variazione della temperatura operativa in funzione della tipologia di struttura. I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano il fattore di carico a cui l'impianto sta lavorando.

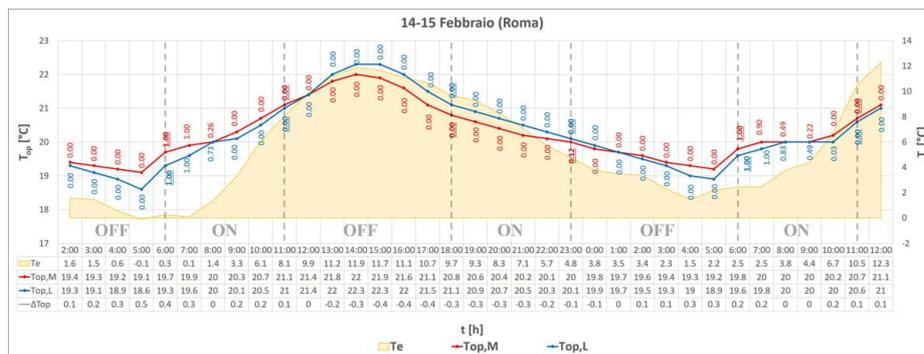


Fig. 8 – 2, Roma, variazione della temperatura operativa in funzione della tipologia di struttura. I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano il fattore di carico a cui l'impianto sta lavorando.

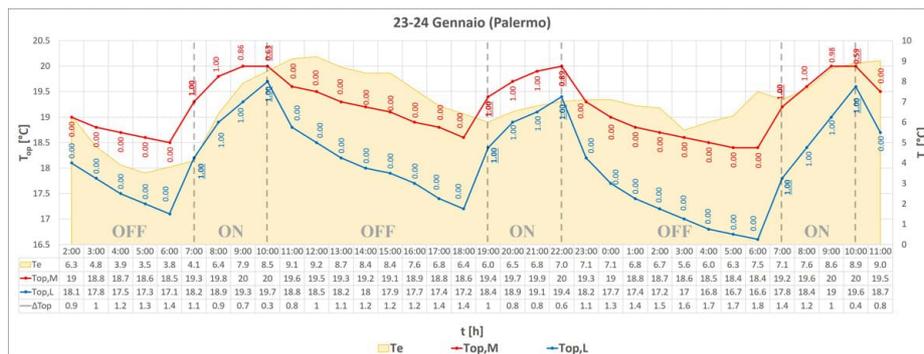


Fig. 9 – 2, Palermo, variazione della temperatura operativa in funzione della tipologia di struttura. I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano il fattore di carico a cui l'impianto sta lavorando.

3 – Periodo Estivo

L'analisi è stata realizzata nel giorno caratterizzato dalle temperature esterne più elevate durante l'intero periodo estivo. Nelle ore in cui l'impianto risulta acceso esso fornisce sempre la potenza massima necessaria per assicurare una temperatura operativa pari alla temperatura di set-point fissata (26°C). I grafici [figg.10, 11, 12] riportano per ogni ora la temperatura operativa e la potenza fornita dall'impianto in funzione della variazione della temperatura esterna e della radiazione solare. L'andamento della temperatura operativa associata alle due tipologie di strutture è il medesimo per tutte le località considerate.

Nella fase in cui l'impianto risulta spento si osserva un incremento maggiore della temperatura operativa nella struttura leggera. Avendo imposto la potenza come infinita, la temperatura operativa di 26°C viene raggiunta nell'ora di accensione dell'impianto per entrambe le tipologie di strutture, con l'unica differenza che la potenza impiegata nella prima ora di accensione risulta essere maggiore nella struttura leggera. Durante le successive ore di accensione dell'impianto, la potenza fornita alle due strutture rimane circa costante. In termini di temperatura operativa, **anche per il periodo estivo, la struttura massiva risulta avere un comportamento migliore rispetto alla struttura leggera** in quanto garantisce temperature operative più basse nella fase di spegnimento dell'impianto di raffreddamento.

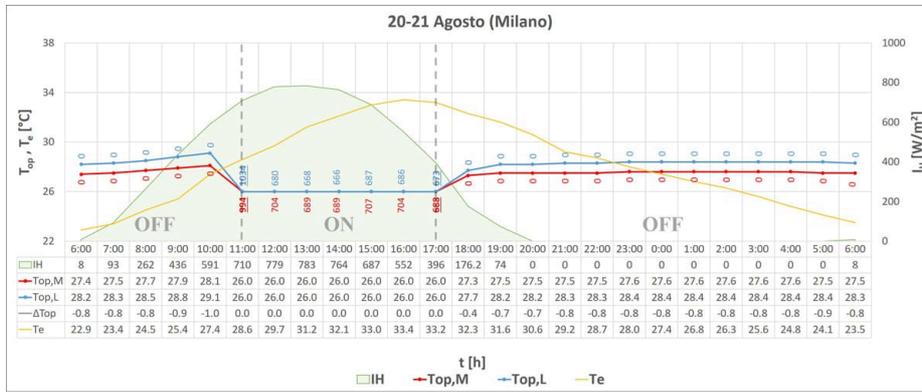


Fig. 10 - 3, Milano, variazione della temperatura operativa in funzione della tipologia di struttura.

I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano la potenza fornita dall'impianto per garantire la temperatura di set-point estivo.

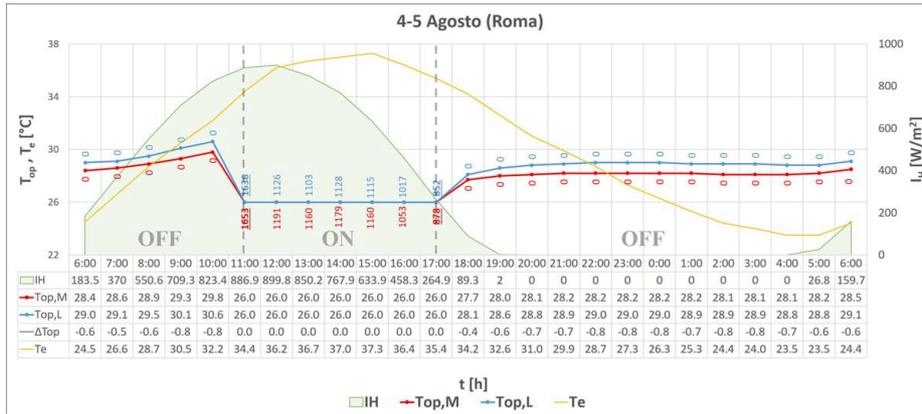


Fig. 11 - 3, Roma, variazione della temperatura operativa in funzione della tipologia di struttura.

I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano la potenza fornita dall'impianto per garantire la temperatura di set-point estivo.

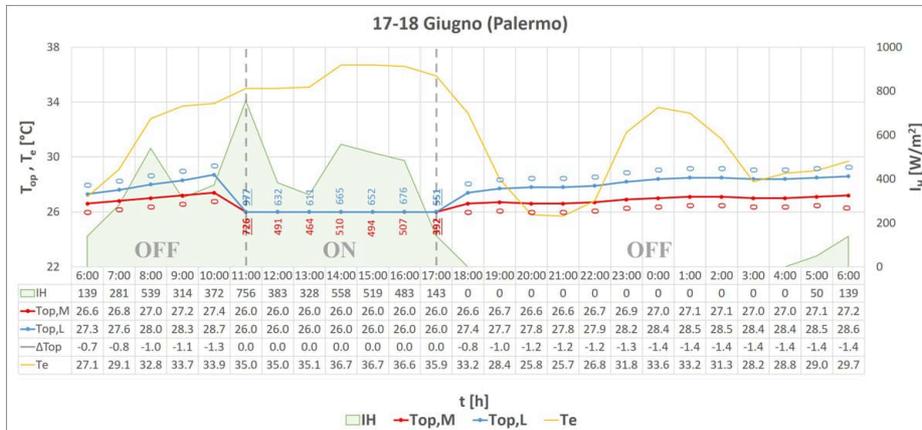


Fig. 12 - 3, Palermo, variazione della temperatura operativa in funzione della tipologia di struttura.

I valori evidenziati in blu (struttura leggera) e in rosso (struttura massiva) indicano la potenza fornita dall'impianto per garantire la temperatura di set-point estivo.

Conclusioni

Attraverso l'utilizzo del metodo di calcolo dinamico proposto dalla norma UNI EN ISO 52016-1⁽¹⁾ è stato determinato l'andamento della temperatura operativa in funzione delle diverse località considerate e delle strutture proposte. I risultati ottenuti mostrano come **la struttura massiva risulta avere un comportamento invernale ed estivo migliore rispetto a quello della struttura leggera**, sia in termini di temperatura operativa sia di potenza fornita e rendimento. Nel periodo invernale la struttura leggera ha un decadimento di temperatura operativa maggiore rispetto alla struttura massiva che garantisce invece tempi di ripresa minori anche con un impianto di potenza ridotta, aspetto fondamentale per l'installazione di un impianto a pompa di calore. Nel periodo estivo l'innalzamento della temperatura operativa a impianto spento è maggiore nella struttura leggera e ciò comporta una potenza maggiore, soprattutto alla prima ora di accensione dell'impianto.

Bibliografia:

- (1) UNI EN ISO 52016-1:2018 "Prestazione energetica degli edifici – Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti – Parte 1: Procedure di calcolo"
- (2) D.M. 26 giugno 2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"
- (3) Decreto 6 agosto 2020 "Requisiti tecnici per l'accesso alle detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica degli edifici – cd. Ecobonus"
- (4) DPR 412/1993 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10"
- (5) UNI/TS 11300 "Normativa tecnica di riferimento sul risparmio energetico e la certificazione energetica degli edifici"
- (6) D.M. Sanità del 05/07/75 "Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896, relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione"
- (7) UNI 10840:2007 "Luce e illuminazione – Locali scolastici – Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale"
- (8) UNI 10349-1:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici – Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata"

DATA PUBBLICAZIONE	14 Giugno 2024
AUTORI	Costanzo Di Perna (*), Serena Summa (**), Giada Remia (***)
NOTE AUTORI	(*), Professore Ordinario, Ingegnere, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM), Facoltà di Ingegneria, Università Politecnica delle Marche (**), Dottoranda, Ingegnere, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM), Facoltà di Ingegneria, Università Politecnica delle Marche (***), Collaboratrice esterna, Dottore Magistrale in Ingegneria, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM), Facoltà di Ingegneria, Università Politecnica delle Marche
RIFERIMENTO	Newsletter numero 157
TRATTO DA	"Costruire in Laterizio" n. 187, ottobre 2021
