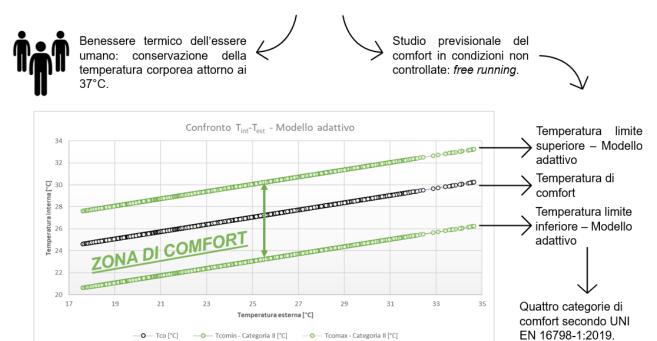


ISOLAMENTO E COMFORT

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

GIUGNO 2021

IL BENESSERE ESTIVO: IL MODELLO ADATTIVO





Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza autorizzazione scritta.

I MANUALI ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **guide e manuali** sulle tematiche legate all'efficienza energetica e all'isolamento acustico degli edifici.

Gli argomenti trattati riguardano la legislazione, le norme tecniche di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro.

Le **guide** sono riservate ai Soci ANIT e analizzano leggi e norme del settore, i **manuali** sono scaricabili per tutti gratuitamente e affrontano con un taglio pratico temi sviluppati in collaborazione con le Aziende associate.













STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante aggiornamento sulle norme in vigore con le GUIDE ANIT



I software per calcolare **tutti i parametri** energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di **chiarimento tecnico** da parte dello Staff ANIT



Abbonamento alla rivista specializzata **Neo-Eubios**

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato (Individuale, Azienda, Onorario). I Soci Individuali possono accedere alla qualifica "Socio Individuale Più" per ottenere servizi avanzati

Il presente manuale è realizzato in collaborazione con:



Tutti i diritti sono riservati

Questo documento è stato realizzato da Tep Srl.

Le informazioni riportate sono da ritenersi indicative ed è sempre necessario riferirsi a eventuali documenti ufficiali in vigore. I contenuti sono aggiornati alla data in copertina. Si raccomanda di verificare sul sito www.anit.it l'eventuale presenza di versioni più aggiornate.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di Tep Srl.

INDICE

1	PREMESSA			
2	IL MO	DELLO DI CALCOLO DINAMICO ORARIO		
	2.1	Cenni al modello di calcolo		
	2.2	Descrizione del metodo e analisi dei risultati		
	2.3	Significato del regime dinamico orario	<i>6</i>	
3	IL CONCETTO DI COMFORT			
	3.1	Criteri Ambientali Minimi: livello di comfort	9	
4	L'ISOL	AMENTO TERMICO DELLE STRUTTURE OPACHE		
	4.1	Il contributo delle strutture opache		
5	ESEMF	PI DI CALCOLO E MISURE: CONFRONTO		
	5.1	Edificio residenziale (Bellano, Lecco)		
	5.2	Scuola (Chiari, Brescia)		
	5.3	Ufficio (Galbiate, Lecco)		
6	CONC	LUŚIONI		
	CONT		2/	

1 PREMESSA

Il tema del rapporto tra isolamento termico degli edifici e comportamento estivo è molto attuale e probabilmente lo sarà sempre di più nei prossimi anni, considerando l'estensione della stagione calda ben oltre i confini estivi del calendario. In quest'ottica, il seguente manuale si pone l'obiettivo di far comprendere l'importanza di un corretto controllo del fabbisogno estivo, finalizzato alla realizzazione termotecnica di qualità.

I maggiori riferimenti a livello legislativo sono:

- Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005¹ e successive modifiche e integrazioni (i.e. Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015²);
- Criteri Ambientali Minimi: tra i requisiti ambientali ed ecologici riportati all'interno dei suddetti criteri è
 possibile trovare anche indicazioni progettuali circa la Prestazione Energetica Estiva e, nello specifico, il
 livello minimo di comfort da garantire negli ambienti interni degli edifici;
- Protocollo ITACA: il protocollo ITACA è un sistema di analisi multicriteria per la valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici. Tra i vari criteri di valutazione è infatti possibile trovare anche quelli relativi a Comfort termico estivo in ambienti climatizzati e a Temperatura operativa nel periodo estivo.

Quanto invece alle normative, i riferimenti sono:

- modello di calcolo analitico con UNI EN ISO 13786 e UNI 10375;
- modello di calcolo in regime dinamico orario con UNI EN ISO 52016
- valutazione della qualità dell'ambiente interno con UNI EN 16798-1.

Le normative di calcolo hanno permesso lo sviluppo di software commerciali alla portata del mondo professionale mentre in passato erano più una possibilità legata al mondo della ricerca. Grazie a ciò, oggi i professionisti possono affrontare il tema estivo in modo molto più accurato.

La possibilità di progettare in regime dinamico orario comporta l'utilizzo di molti dati in ingresso (*input*) e l'acquisizione di molti dati di uscita (*output*). È quindi opportuno conoscere alcune regole generali che sono da applicare al singolo caso, che darà dei risultati che dipendono dall'insieme dei dati in ingresso, come ad esempio:

- apporti solari dalle superfici trasparenti;
- apporti e dispersioni per trasmissione dalle strutture opache e trasparenti;
- apporti interni;
- apporti e dispersioni per ventilazione
- capacità inerziale della zona termica

Il manuale affronta il tema dell'isolamento in estate focalizzandosi sul tema del comfort e su quello della temperatura operante interna. Vengono mostrate inoltre alcune valutazioni su edifici modellati con il software di simulazione dinamica ICARO con un confronto tra misure strumentali e calcoli predittivi.

Lo spirito del manuale riprende le conclusioni dell' <u>"Approfondimento - Il comportamento dell'involucro in estate"</u> realizzato nel 2017.

¹ Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

²Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

2 IL MODELLO DI CALCOLO DINAMICO ORARIO

Il seguente paragrafo ha lo scopo di descrivere le metodologie su cui si basa il calcolo dinamico orario e i risultati ottenibili con i software dedicati.

2.1 Cenni al modello di calcolo

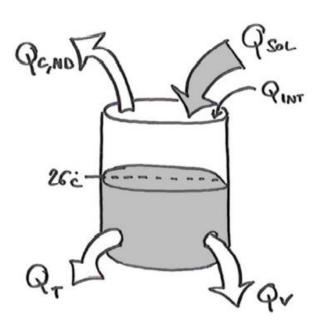
La normativa UNI EN ISO 52016-1, dal titolo *Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo,* definisce le metodologie di calcolo dei fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento (su base oraria o mensile), oltre al metodo di calcolo per le temperature interne (su base oraria).

Il calcolo dinamico orario descritto dalla norma permette di analizzare in maniera molto precisa i componenti opachi dell'edificio, con particolare attenzione al loro comportamento inerziale su base oraria.

Il modello di calcolo valuta per ogni struttura la temperatura media radiante che è un'informazione preziosa ai fini del comfort ambientale.

I dati di input necessari all'utilizzo del modello proposto dalla norma UNI EN ISO 52016 sono:

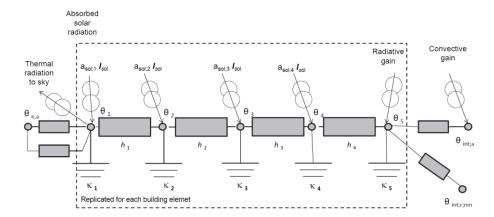
- dati climatici su base oraria, ovvero:
 - temperatura oraria dell'aria esterna del sito oggetto di studio;
 - contenuto di umidità dell'aria esterna;
 - irradianza solare oraria, diretta, diffusa, su piano orizzontale e su superfici variamente inclinate;
- contributi di bilancio:
 - carico (scarico) per trasmissione e per ventilazione;
 - apporti solari e apporti interni (presenza di persone, cose etc.).



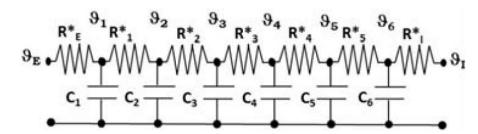
I contributi del modello dinamico orario da valutare sono gli apporti interni, gli apporti solari, apporti/perdite per ventilazione e trasmissione e inerzia della zona termica

L'aspetto più importante della normativa riguarda la discretizzazione spaziale in "strati convenzionali" dei componenti opachi analizzati. Vi sono due possibili schematizzazioni:

- la prima è presentata nell'appendice B della norma, che prevede che le strutture opache vengano analizzate attraverso uno schema RC (resistenze-condensatori) ridotto a 5 nodi che riesca a sintetizzare i possibili fenomeni resistivi (resistenza termica) e capacitivi (accumulo/rilascio energetico nel tempo) in atto. Si riporta di seguito la schematizzazione del problema proposto dall'appendice;



- la seconda è presentata dall'appendice nazionale A, dove viene proposto uno schema RC più dettagliato rispetto al modello europeo: il numero di nodi non è fisso e uguale a 5, ma varia in funzione delle caratteristiche di ogni struttura. Questo significa che non serve identificare la posizione della massa rispetto ai 5 schemi predefiniti sopra descritti perché l'utente è tenuto a descrivere nel dettaglio l'intera stratigrafia. Ovvero per ogni struttura opaca sono necessarie informazioni su posizione, spessore, conduttività termica, calore specifico e densità di ogni materiale presente.

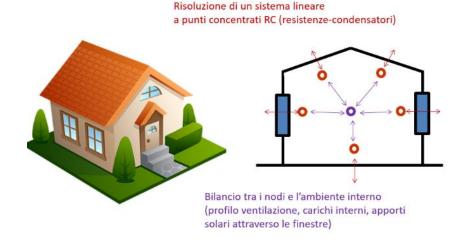


In sintesi, è proprio grazie allo sviluppo di queste metodologie di calcolo che il nuovo modello di calcolo orario dinamico riesce a considerare gli effetti più o meno inerziali dell'involucro edilizio.

2.2 Descrizione del metodo e analisi dei risultati

La normativa prevede un algoritmo che segue il procedimento illustrato di seguito per la valutazione del fabbisogno:

- 1. Valutazione temperatura operativa interna³ (in assenza di impianti);
- 2. Verifica che tale temperatura sia compresa tra la temperatura di set-point per il riscaldamento e quella per il raffrescamento, che variano in funzione della destinazione d'uso;
- 3. Nel caso in cui la verifica di cui al punto 2 sia soddisfatta non sarà necessaria l'erogazione di potenza termica (o frigorifera) e quindi l'impianto non sarà attivato, il che porterà ad un dato di output di potenza nulla:
- 4. Qualora, invece, la verifica di cui al punto 2 non sia soddisfatta, l'algoritmo provvederà a determinare le potenze di riscaldamento/raffrescamento necessarie a garantire il raggiungimento della temperatura di set point impostata;
- 5. A questo punto si verifica che la potenza richiesta di cui al punto 4 sia minore della potenza che riesce a fornire l'impianto.
- 6. Qualora la verifica di cui al punto 5 non risulti soddisfatta, l'algoritmo provvederà a determinare il carico di energia effettivamente necessario per il riscaldamento (o raffrescamento) di tutte le ore considerate.
- 7. Qualora, invece, la verifica di cui al punto 5 risulti pienamente soddisfatta si avrebbe come conferma il fatto che la potenza fornita dagli impianti sia sufficiente per soddisfare il fabbisogno energetico dell'edificio.



2.3 Significato del regime dinamico orario

Il confronto di questo regime con quello semi stazionario mensile generalmente utilizzato per le valutazioni termotecniche tradizionali (ex-legge 10 e APE) evidenzia come il modello dinamico orario, seppur ancora in via di sviluppo, porta con sé molteplici vantaggi. Infatti, questo mostra una nuova e maggiore verosimiglianza dei risultati, oltre che a nuove prospettive progettuali, quali per esempio:

- l'analisi del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio più vicino alla realtà;
- la verifica delle condizioni di comfort all'interno degli ambienti;
- lo studio delle potenze richieste dai diversi servizi energetici che permette di non cadere in un inutile sovradimensionamento dei sistemi impiantistici;
- la valutazione dell'efficacia dei sistemi di controllo solare e del comportamento inerziale dell'involucro.

³ Per quanto riguarda la determinazione delle temperature dei nodi delle strutture, l'algoritmo di calcolo prevede la risoluzione di un sistema di equazioni di bilancio energetico svolto sia a livello di zona, che a livello di singolo elemento costruttivo. Per maggiori informazioni sule specifiche riguardanti i singoli contributi delle equazioni di bilancio termico si rimanda alla lettura della normativa di riferimento.

3 IL CONCETTO DI COMFORT

Quando si parla di comfort termoigrometrico all'interno di un edificio è bene precisare la presenza, o l'eventuale assenza, di un impianto di climatizzazione. Nel caso in cui l'edificio oggetto di analisi sia provvisto di un impianto, infatti, si ricorre a degli indici di valutazioni chiamati:

- PMV, ovvero il Voto Medio Previsto (Predicted Mean Vote);
- PPD, ovvero la Previsione Percentuale di Insoddisfatti (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Gli indici PMV e PPD si basano sull'assunto che se le condizioni proposte in laboratorio (per differenti valori di resistenza termica del vestiario, attività svolta e parametri ambientali oggettivi) soddisfano le condizioni di benessere termico per una popolazione numerosa di soggetti, è ragionevole ritenere di poter estendere la valutazione in generale a tutti gli utenti. In caso contrario nascerà un'insoddisfazione che potrà essere valutata qualitativamente mediante una scala di sensazioni. Ad oggi l'uso di questi indici è codificato dalla norma UNI EN ISO 7730:2006 "Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale".

Differente è però il caso in cui non sia presente un impianto di climatizzazione all'interno dell'edificio oggetto di studio. In questa particolare circostanza la temperatura operante interna dell'ambiente analizzato avrà un andamento libero che sarà strettamente correlato alla temperatura esterna e alla capacità dell'involucro edilizio⁴ di opporre resistenza (termica) allo scambio di calore con l'ambiente esterno.

In assenza di impianti, infatti, si è visto che la percezione delle condizioni di benessere diviene più "flessibile" se gli utenti sono in grado di intervenire sul controllo climatico dell'edificio, ad esempio aprendo le finestre ("controllo climatico naturale", in contrapposizione a "controllo climatico meccanico").

Campagne di misura in campo hanno dimostrato come una serie di fattori di adattamento comportamentale, fisiologico e psicologico concorrano ad influenzare la sensibilità dell'individuo alla condizione climatica percepita: si parla in quest'ottica di *comfort adattivo*.

Il comfort adattivo

UNI EN 16798-1:2019

Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica



La sensazione di comfort provato in un ambiente è legata:

- alla temperatura percepita dai nostri "sensori"
- alla capacità del corpo umano di "adattarsi" alle condizioni di caldo

⁴ Involucro esterno inteso come tutte le tecnologie che concorrono alla separazione dell'ambiente interno da quello esterno, tra cui chiusure verticali opache, trasparenti, di copertura, elementi schermanti etc.

Lo studio previsionale del comfort in condizioni non controllate ha portato a teorizzare il modello del comfort adattivo.

Secondo il modello adattivo quindi esiste una temperatura, definita come *temperatura operativa* (o operante) ottimale, che rappresenta il massimo livello di comfort all'interno di un ambiente confinato, determinata secondo la relazione⁵

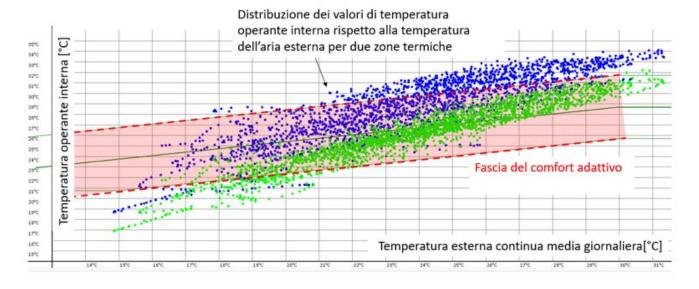
$$\Theta_c = 0.33 * \Theta_{rm} + 18.8$$

che dipende unicamente dal parametro Θ_{rm} , ovvero dalle oscillazioni di temperatura esterna dei periodi precedenti.

La condizione di comfort non è però limitata a situazioni in cui la temperatura operante interna sia esattamente pari all'ottimale. A questo proposito, l'attuale normativa UNI EN 16798-1:2019 stabilisce degli intervalli di comfort che oscillano proprio attorno a questo valore ottimale. Si descrivono, quindi, brevemente gli intervalli che sanciscono le categorie di comfort da normativa⁶:

-	Categoria I:	limite superiore:	$\Theta_0 = 0.33 * \Theta_{\rm rm} + 18.8 + 2$
		limite inferiore:	$\Theta_0 = 0.33 * \Theta_{\rm rm} + 18.8 - 3$
-	Categoria II:	limite superiore:	$\Theta_0 = 0.33 * \Theta_{\rm rm} + 18.8 + 3$
		limite inferiore:	$\Theta_0 = 0.33 * \Theta_{\rm rm} + 18.8 - 4$
-	Categoria III:	limite superiore:	$\Theta_0 = 0.33 * \Theta_{\rm rm} + 18.8 + 4$
		limite inferiore:	$\Theta_0 = 0.33 * \Theta_{\rm rm} + 18.8 - 5$

Grazie a questi limiti è quindi possibile creare un grafico su cui è possibile leggere la temperatura esterna sull'asse delle ascisse e la temperatura operante media interna su quello delle ordinate. Una volta individuata la "fascia di comfort" desiderata è possibile inserire all'interno del grafico la nuvola di punti che rappresentano le condizioni di temperatura interna. Viene di seguito mostrato un grafico tipico dell'analisi di comfort adattivo.



⁵ La normativa limita l'utilizzo di questa relazione al solo range di temperature esterne tra 10°C e 30°C, mentre non vi è menzione sull'utilizzo in circostanze differenti.

_

⁶ Per maggiori chiarimenti sull'utilizzo e sulla definizione delle varie categorie di comfort si rimanda alla lettura dell'*Appendice B* della normativa UNI EN 16798-1:2019

Dalla lettura del grafico è intuibile che più la "nuvola di punti" cadrà all'interno della "fascia di comfort", tanto più sarà soddisfatta la condizione di comfort. È chiaro quindi come oggi il modello adattivo sia tornato attuale come strumento di previsione del comfort in edifici ad alte prestazioni e di controllo delle scelte progettuali legate al solo involucro edilizio, anche grazie allo sviluppo di software che agevolano il progettista nel processo di analisi.

3.1 Criteri Ambientali Minimi: livello di comfort

Il problema del comfort indoor viene anche affrontato dai *Criteri Ambientali Minimi* (*CAM*) - DM 11 ottobre 2017, ovvero quell'insieme di requisiti ambientali definiti dal Ministero dell'Ambiente volti ad indirizzare le Pubbliche Amministrazioni verso una razionalizzazione dei consumi e degli acquisti fornendo indicazioni per l'individuazione di soluzioni progettuali, prodotti o servizi migliori sotto il profilo ambientale.

Il criterio 2.3.2 che riguarda la prestazione energetica per il comfort estivo prevede che:

- I progetti degli interventi di nuova costruzione, inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione e quelli di ampliamento di edifici esistenti che abbiano un volume lordo climatizzato superiore al 15% di quello esistente o comunque superiore a 500 m³, e degli interventi di ristrutturazione importante di primo livello, devono garantire adeguate condizioni di comfort termico negli ambienti interni, attraverso una progettazione che preveda una capacità termica areica interna periodica (Cip) di almeno 40 kJ/m²K oppure calcolando la temperatura operante estiva e lo scarto in valore assoluto valutato in accordo con le normative vigenti.
- Per i progetti degli interventi di ristrutturazione importante di secondo livello e di riqualificazione energetica riguardanti l'involucro edilizio nel caso siano previsti interventi di isolamento termico dall'interno o l'isolamento termico in intercapedine, deve essere mantenuta la capacità termica areica interna periodica dell'involucro esterno precedente all'intervento o in alternativa va calcolata la temperatura operante estiva e lo scarto in valore assoluto valutato in accordo con le normative vigenti rispetto a una temperatura di riferimento.

Per verificare la conformità al criterio, il progettista calcola la temperatura operante estiva $\Theta_{o,t}$ secondo le normative vigenti⁷, con riferimento al giorno più caldo della stagione e per l'ambiente dell'edificio destinato alla presenza di persone ritenuto più sfavorevole. Lo scarto di temperatura in valore assoluto (ΔT), che corrisponde al livello minimo di comfort da garantire nell'ambiente più sfavorevole, si valuta tramite la relazione

$$\Delta T_i = \left|\Theta_{o,t} - \Theta_{rif}\right| < 4^{\circ}C$$

dove:

 $\Theta_{rif} = 0.33*\Theta_{est} + 18.8$

La principale differenza con la normativa descritta nel paragrafo precedente sta nella mancata distinzione di diverse categorie di comfort: in questo caso vi è un'unica e sola condizione da rispettare, ovvero che lo scarto di temperatura sia minore di 4°C.

Il criterio 2.3.5.7 prevede inoltre di garantire condizioni conformi almeno alla classe B secondo la norma ISO 7730:2005 in termini di PMV (Voto medio previsto) e di PPD (Percentuale prevista di insoddisfatti).

_

⁷ Il calcolo è permesso anche con metodi più accurati.

4 L'ISOLAMENTO TERMICO DELLE STRUTTURE OPACHE

Il ruolo delle strutture opache per il comportamento delle zone termiche durante il periodo di riscaldamento, le mezze stagioni e l'estate è cruciale. Per il periodo al di fuori di quello di riscaldamento le prescrizioni riguardano, oltre al contenimento del fabbisogno di raffrescamento, i valori di trasmittanza termica periodica Y_{ie} , misurata in W/m^2K , o di massa superficiale M_s , misurata invece in kg/m^2 .

A tal fine le strutture opache possono essere realizzate scegliendo materiali isolanti che abbiano la capacità di ridurre la velocità di propagazione dell'onda termica entrante e stabilizzare la fluttuazione della temperatura grazie a:

- buone caratteristiche isolanti (conduttività);
- buone caratteristiche inerziali (calore specifico e massa volumica).

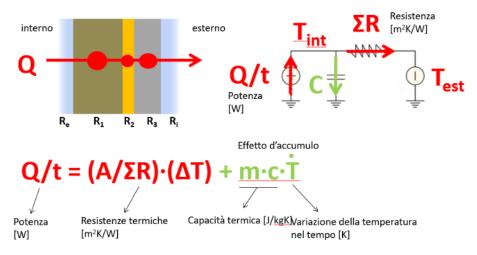
Lo scopo del seguente paragrafo sarà quindi quello di illustrare la teoria su cui si basa il comportamento estivo delle strutture opache e l'influenza di queste sulle temperature degli ambienti interni.

4.1 Il contributo delle strutture opache

La potenza che attraversa una struttura opaca, nel caso estivo, si compone di un contributo stazionario, e quindi costante nel tempo, e di un contributo dinamico:

- Il primo di questi due, quello stazionario, tiene in considerazione la resistenza termica della struttura, che deriva dalle conducibilità dei singoli materiali e dello spessore associato;
- Il secondo contributo, quello "dinamico", riguarda invece la capacità termica del materiale, che va a descrivere la capacità della struttura, e quindi anche quella dei materiali che la compongono, di assorbire (o immagazzinare) il calore al suo interno per rilasciarlo poi in un altro momento.

In regime dinamico



L'insieme dei due contributi, capacità di trasmettere poca energia e capacità di accumulare, governano il comportamento delle strutture opache in regime estivo. Ogni strato della struttura opaca può essere infatti immaginato come "serbatoio" che, riempiendosi, riesce a ridurre il flusso energetico che attraversa la parete. È in quest'ottica quindi che, nell'ipotesi di regime variabile, entra in gioco il tempo di reazione di ogni strato al passaggio di energia: materiali con capacità d'accumulo differente innescano comportamenti inerziali e quindi tempi di reazioni differenti. Unitamente alla capacità di accumulo è importante la riduzione di passaggio di energia.

Nella pratica, questi aspetti teorici mutano nell'accurata scelta del materiale isolante, facendo particolare attenzione all'insieme delle sue caratteristiche, quali:

- Conduttività termica
- Calore specifico
- Massa volumica
- Spessore

Questi dati sono riassumibili attraverso un parametro:

la diffusività termica a [m²/s].

calcolata come segue:

$$a = \lambda/(\rho * c)$$

dove:

- λ è la conducibilità termica del materiale in analisi, espresso in W/mK;
- ρ è la densità del materiale in analisi, espressa in kg/m³;
- c è il calore specifico del materiale in analisi, espresso in kJ/kgK;

La diffusività termica rappresenta in qualche modo la velocità con cui si riempiono i serbatoi con cui sono stati descritti i singoli strati della struttura opaca; in generale: minore il valore della diffusività termica, maggiore sarà il contributo nell'attenuare e sfasare l'onda termica entrante.

4.1.1 Altre caratteristiche della struttura opaca: colore e ombreggiamenti esterni

Per la valutazione del flusso solare attraverso le pareti opache si tiene in considerazione anche il colore della superficie esterna e la posizione della stessa. Entrambi gli aspetti sono indipendenti dalle caratteristiche descritte nel paragrafo precedente in quanto rientrano in scelte meramente architettoniche. La colorazione influenza la temperatura superficiale esterna.

Il colore della superficie esterna impatta sulla capacità di questa di scaldarsi per effetto dell'irraggiamento solare. E' possibile quantificare l'efficacia della colorazione per mezzo del concetto di "area di captazione solare effettiva", definita secondo la relazione

$$A_{sol} = \alpha_{sol,c} * R_{se} * U_c * A_c$$

in cui:

- α_{sol.c} rappresenta il fattore di assorbimento solare che, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, può essere assunto indicativamente pari a 0,3 per colori chiari, 0,6 per colori medi e 0,9 per colori scuri;
- R_{se} è la resistenza termica superficiale di una struttura opaca, misurata in m²K/W;
- U_c è la trasmittanza termica del componente opaco, misura in W/m²K;
- A_c è l'area proiettata del componente opaco, misurata in m².

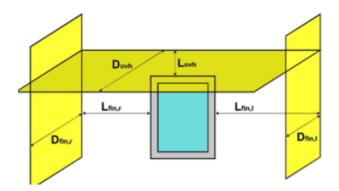
È quindi evidente che il fattore di assorbimento solare riesce in qualche modo a limitare, in maniera più o meno significante, l'area di captazione solare e quindi il carico termico legato all'irraggiamento durante il periodo estivo.

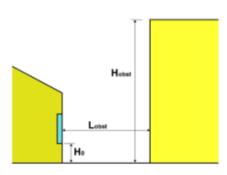
Un altro importante aspetto da considerare è la posizione dell'elemento di chiusura opaco che si va a considerare in sede di valutazione energetica. La posizione, infatti, può incidere sulla quantità di energia solare che va ad attraversare la parete. A parità di struttura è quindi naturalmente rilevante se questa è esposta a sud, est, nord o ovest.

L'intensità di radiazione solare incidente può comunque essere ridotta grazie a sistemi di ombreggiamento fissi categorizzabili in tre modi:

- presenza di ostruzioni esterne
- aggetti orizzontali
- aggetti verticali

Gli schemi proposti dalle principali normative in materia di fabbisogno energetico dell'edificio e informazioni geometriche ad essi associati consentono di stimare l'ombreggiamento mensile o orario delle schermature fisse a beneficio della superficie che vede quindi meno irraggiamento.





La corretta progettazione di una struttura opaca è quindi basata sulle caratteristiche e posizione dei materiali che compongono la struttura, sulla colorazione esterne e su eventuali forme di ombreggiamento esterne fisse.

5 ESEMPI DI CALCOLO E MISURE: CONFRONTO

Sulla base della teoria descritta sono state realizzate misure in opera su ambienti di edifici reali durante il periodo estivo. Oltre alle misure si è proceduto con la modellazione in regime dinamico orario degli ambienti provando a confrontare i risultati di misura con quelli predittivi.

Sono stati studiati tre differenti ambienti confinati che riguardano zone termiche di tre differenti tipologie edilizie, ovvero:

- una mansarda di un edificio residenziale;
- un'aula scolastica;
- un ufficio.

Per tutte e tre le zone termiche sono state raccolte informazioni geometriche, termiche e dell'utenza sufficienti a produrre delle valutazioni di tipo predittivo sul comfort. Le misure in opera sono state realizzate durante il periodo che va dal 29 giugno 2020 al 21 luglio 2020. Per le zone termiche in analisi sono state misurate le temperature interne dell'aria, di cui verrà effettuato un confronto con quelle esterne misurate da stazioni ARPA, nello stesso periodo.

Inoltre, sono state effettuate indagini termoflussimetriche, con opportuna strumentazione, per monitorare il comportamento delle strutture isolate che delimitano le zone termiche analizzate.

5.1 Edificio residenziale (Bellano, Lecco)

Il primo caso studio riguarda la mansarda di un edificio residenziale sito a Bellano (Lecco).

La zona termica è delimitata da:

- pareti opache in laterizio con isolamento termico pari a 12 cm (tipo Stiferite CLASS SK);
- copertura in legno ventilata, che vanta uno strato di isolamento termico pari a 14 cm (tipo Stiferite GT);
- serramenti a doppio vetro con trasmittanza pari a 1,5 W/m²K;
- partizione verticale in tavolato da 8 cm, a contatto con un'altra zona termica;
- solaio interpiano in laterocemento, a contatto con un'altra zona termica.

L'area calpestabile è di circa 15 m².

La condizione è quella di *free running*, ovvero non sono presenti impianti che regolano e garantiscono il benessere termico della zona.

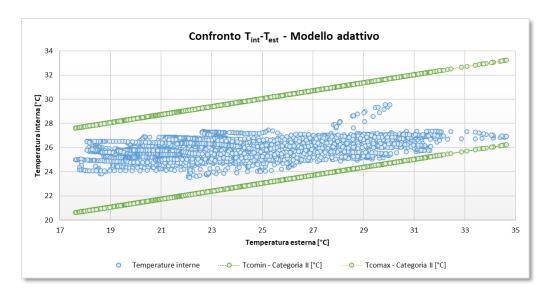
Per la simulazione predittiva è stata considerata la presenza di due persone nelle ore notturne, a cui è stata associata una determinata attività metabolica, ossia apporto interno di calore, strettamente legata ad attività di riposo.





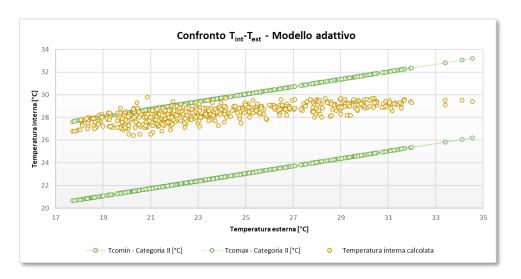
Le misure in opera hanno mostrato una percentuale di comfort pari al 100%. Un'ulteriore conferma è arrivata poi dagli occupanti della zona termica, che hanno dichiarato l'effettivo stato di comfort e benessere termico registrato durante il periodo di monitoraggio.

I risultati della misura sono stati riportati per mezzo del modello del comfort adattivo.



Misure orarie di temperatura dell'aria interna registrate riportate in relazione al comfort adattivo

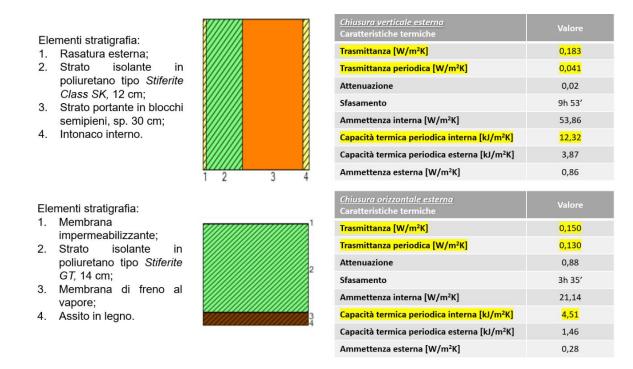
Il modello predittivo dell'ambiente ha prodotto risultati che, seppur leggermente diversi, confermano quanto misurato in opera. Nel grafico sviluppato con software di simulazione dinamica ICARO si mostra una percentuale di comfort pari al 96% contro una percentuale di discomfort pari al 4%.



Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo

I risultati misurati e quelli calcolati presentano una lieve differenza probabilmente legata alla difficoltà di rappresentare in maniera totalmente realistica la zona oggetto di studio. Un ambiente progettato correttamente (adeguati valori di trasmittanza termica periodica per parti opache) e correttamente gestito (schermature solari sui componenti opachi e ricambi d'aria idonei) porta ad un ottimo livello di benessere termico estivo.

Si riportano i parametri delle strutture opache dell'ambiente oggetto di indagine.



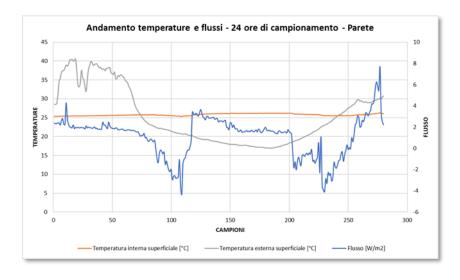
La struttura di copertura è caratterizzata anche da un'intercapedine d'aria e dalle tegole di copertura non riportate nella descrizione.

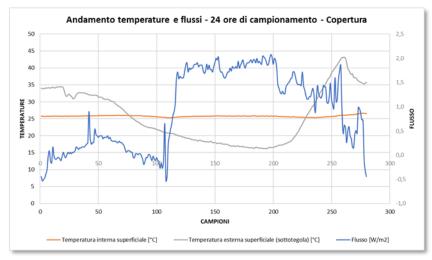
Analisi termoflussimetriche

Durante la campagna di monitoraggio sono state effettuate delle misure termoflussimetriche che hanno permesso di monitorare il comportamento delle due strutture isolate.

Si riportano le misure di 24 ore rappresentative dalle ore 13 del giorno 7 luglio fino alle ore 13 del giorno dopo, 8 luglio. Sono state misurate per ambedue le strutture le temperature superficiali esterne ed interne e il flusso passante attraverso le strutture, grazie al posizionamento di apposita strumentazione tecnica.

Si riportano quindi di seguito i grafici che descrivono i parametri appena citati.





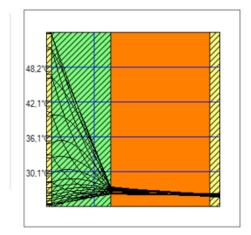
Anche le misure di flusso possono essere confrontate con il calcolo predittivo.

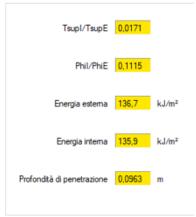
L'energia solare che ha attraversato le strutture a partire dalle 13:00 del 7 di luglio per le successive 24 ore è pari a 97 kJ/m²giorno per la parete e a 77 kJ/m²giorno per la copertura. Per valutarla si calcola l'integrale nel tempo di campionamento (5 minuti) delle misure di flusso. Il risultato è il bilancio tra l'energia entrante ed eventualmente uscente dalla struttura. Il segno positivo attesta un risultato complessivo di energia che entra nell'ambiente per effetto dell'irraggiamento solare sulla superficie esterna.

L'energia in ingresso misurata può essere confrontata con quella determinata tramite l'analisi dinamica estiva svolta con un modulo dedicato del software PAN agli elementi finiti caratterizzato dalla stratigrafia delle strutture e dalle condizioni al contorno di temperatura superficiale derivate da quelle misurate.

Il valore di simulazione che si ottiene per la parete è pari a 136 kJ/m² giorno che è considerabile adeguato al confronto tenendo conto della non completa sovrapponibilità delle condizioni al contorno, delle incertezze di misura e delle incertezze legate alla caratterizzazione termica dei materiali (calore specifico e massa volumica).

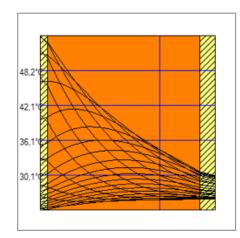
L'obiettivo progettuale deve puntare a ridurre o azzerare il valore di energia entrante. Si può affermare che l'ordine di grandezza dei valori misurati e di quelli calcolati con la misurazione sono coerenti.





Cosa accadrebbe in assenza di isolamento sulla stessa struttura da 200 kg/m² e di trasmittanza termica periodica pari a Y_{ie} = 0.82 W/m²K, trasmittanza termica U = 1.42 W/m²K e attenuazione pari a 0.57?

L'energia in ingresso cresce di un ordine di grandezza ovvero a 1171 kJ/m²giorno e le temperature superficiali interne raggiungono valori molto più elevati (da circa 26 °C a 30°C). Il risultato quindi di comfort all'interno degli ambienti è fortemente collegato alla qualità estiva delle strutture opache che hanno l'obiettivo di frenare l'energia solare entrante.





Analogamente il valore di simulazione che si ottiene per la copertura è pari a 52 kJ/m²giorno. Anche in questo caso se simulassimo un confronto con la medesima copertura considerata esistente (con intercapedine d'aria e solo pochi cm di isolante) il flusso di calore risulterebbe molto superiore: 1560 kJ/m² giorno.

5.2 Scuola (Chiari, Brescia)

Il secondo caso studio riguarda invece un edificio scolastico sito a Chiari, in provincia di Brescia. La zona termica analizzata è rappresentativa di un'aula di una scuola elementare di circa 70 m². Questa è delimitata da:

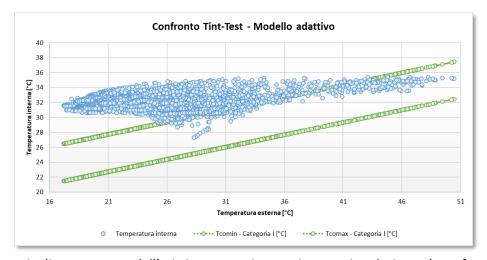
- pareti opache con rivestimento a cappotto, tipo Stiferite CLASS SK, (ovest) e facciata ventilata isolante (sud), che vantano uno strato di isolamento termico in poliuretano di spessore 13 cm;
- copertura con struttura prefabbricata (della tipologia a tegolo pigreco), che vanta uno strato di isolamento termico, sempre in poliuretano tipo Stiferite CLASS B, ma con uno spessore pari a 16 cm;
- serramenti a doppio vetro con trasmittanza pari a 1,4 W/m²K;
- partizione verticale interna con tecnologia a secco, a contatto con un'altra zona termica;
- partizione orizzontale interna in laterocemento, a contatto con un'altra zona termica.

Anche in questo caso la condizione è stata di *free running*, esattamente come il caso precedente, ma l'aula non è stata utilizzata dagli utenti e quindi è da considerarsi priva di apporti di persone o cose, ma anche priva di gestione dei ricambi orari e delle schermature solari, essendo l'indagine svolta a cavallo tra il mese di giugno e luglio, durante il periodo di chiusura della scuola.



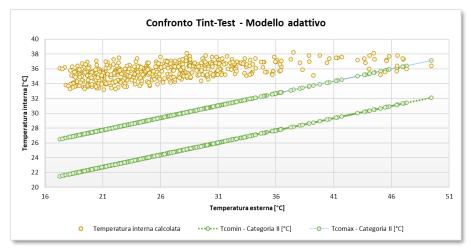


Le misure in opera hanno rivelato un elevatissimo discomfort, pari al 91%, sinonimo del fatto che nonostante sia presente un adeguato progetto di isolamento termico, sia di parete che di copertura, non si riesce comunque a garantire un elevato livello di comfort: sarà necessaria quindi una corretta gestione della zona, che può avvenire con l'utilizzo di schermature solari e di un numero adeguato di ricambi orari.



Misure orarie di temperatura dell'aria interna registrate riportate in relazione al comfort adattivo

Anche la simulazione di calcolo effettuata con il software di simulazione dinamica ICARO ha messo in evidenza un elevato valore percentuale di discomfort, pari al 91% nelle condizioni di "utilizzo" dell'aula.



Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo

Anche in questo caso si riportano i parametri termotecnici delle strutture delimitanti la zona termica, in quanto è stato appurato che, in questo particolare caso, il discomfort è principalmente governato dall'assenza di schermature e dal mancato controllo della zona termica.

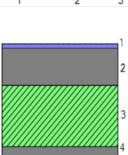
Elementi stratigrafia:

- Strato isolante in poliuretano tipo Stiferite Class SK, 13 cm;
- Blocchi pieni di calcestruzzo cellulare, sp. 30 cm;
- Intonaco interno.

1 2 3

Elementi stratigrafia:

- Membrana impermeabilizzante;
- 2. Massetto in cls alleggerito;
- Strato isolante in poliuretano tipo Stiferite Class B, 16 cm;
- Membrana di freno al vapore;
- 5. Cls di riempimento, 10 cm.



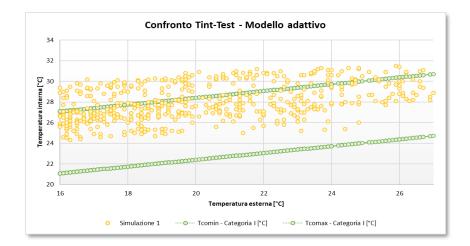
<u>Chiusura verticale esterna</u> Caratteristiche termiche	Valori
Trasmittanza [W/m²K]	<mark>0,14</mark>
Trasmittanza periodica [W/m²K]	<mark>0,01</mark>
Attenuazione	0,07
Sfasamento	15h 30'
Ammettenza interna [W/m²K]	3,0
Capacità termica periodica interna [kJ/m²K]	<mark>41,1</mark>
Capacità termica periodica esterna [kJ/m²K]	3,8
Ammettenza esterna [W/m²K]	0,3

<u>Chiusura orizzontale esterna</u> Caratteristiche termiche	Valori
Trasmittanza [W/m²K]	<mark>0,13</mark>
Trasmittanza periodica [W/m²K]	<mark>0,05</mark>
Attenuazione	0,24
Sfasamento	10h 32'
Ammettenza interna [W/m²K]	7,6
Capacità termica periodica interna [kJ/m²K]	<mark>105,2</mark>
Capacità termica periodica esterna [kJ/m²K]	45,5
Ammettenza esterna [W/m²K]	3,3

5.2.1 Simulazione di differenti modalità d'uso della zona

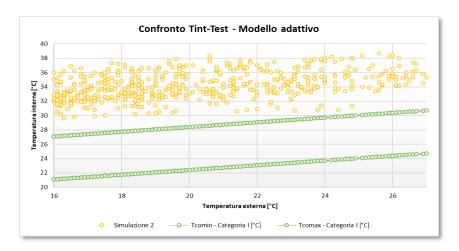
Per concludere lo studio su questa zona termica, che ricordiamo essere caratterizzata da un elevatissimo grado di discomfort, sono state effettuate altre simulazioni. Le simulazioni sono state realizzate per il mese di maggio, mese in cui la scuola è aperta al pubblico e quindi soggetta alla presenza di persone, e successivamente vanno ad ipotizzare diversi scenari di utilizzo, che mirano al raggiungimento di un livello di comfort che possa risultare accettabile per il benessere termoigrometrico.

La prima simulazione è stata realizzata considerando l'assenza di alunni, di schermatura e della gestione dell'aria, considerando nuovamente l'aula in condizione di free running: questa ha mostrato un grado di comfort pari al 65%, accettabile in quanto il mese di maggio è caratterizzato da temperature decisamente meno elevate rispetto quello di luglio.



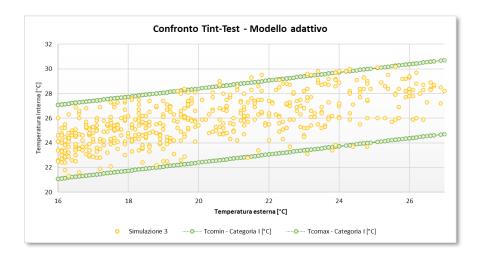
Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo senza alunni, senza gestione dell'aria e delle schermature, mese di maggio

La seconda simulazione è stata effettuata considerando l'aula occupata da 20 persone, alle quali è stata associata un'attività metabolica leggera e sedentaria, senza gestire la ventilazione e le schermature. L'apporto interno stimato è di circa 1,5 kW. In questa condizione il livello di comfort diminuisce drasticamente, passando dal 65% della simulazione precedente ad un valore nullo.



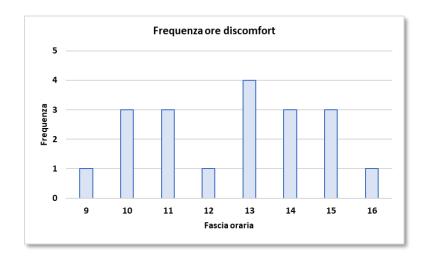
Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo con alunni, senza gestione dell'aria e delle schermature, mese di maggio

L' ultima simulazione prevede l'aula occupata sempre da 20 persone ma con una buona gestione: ventilazione dell'ambiente, pari circa a 1 volume orario, e un ottimo controllo delle schermature solari. Si raggiunge così un livello di comfort interno pari al 97%.



Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo con alunni, con gestione dell'aria e delle schermature, mese di maggio

Il dato di discomfort, pari al 3% di ore su un campione di 786, non preoccupa in quanto, come si evince dal grafico sotto riportato, è in linea con le aspettative: il discomfort si colloca nelle ore più calde della giornata.



Si stima il raggiungimento del massimo livello di comfort con una maggiore attenzione sull'uso delle schermature o sull'integrazione di servizi impiantistici di raffrescamento.

5.3 Ufficio (Galbiate, Lecco)

L'ultimo caso studio riguarda un ufficio sito nel comune di Galbiate, in provincia di Lecco. Gli elementi termoresistenti principali riguardanti l'analisi sono:

- pareti verticali in blocchi cementizi con isolamento termico interno in poliuretano (tipo Stiferite RP).
- copertura in legno isolata;
- serramenti trasparenti posizionati sia a parete, sia in copertura.

In questo caso la condizione non sarà quella di *free running*, bensì controllata. Infatti, dalle ore 8 alle ore 18 vi è stato un continuo utilizzo di impianti che andranno a controllare la temperatura e l'umidità presenti nella zona. Si evidenziano inoltre i seguenti apporti interni:

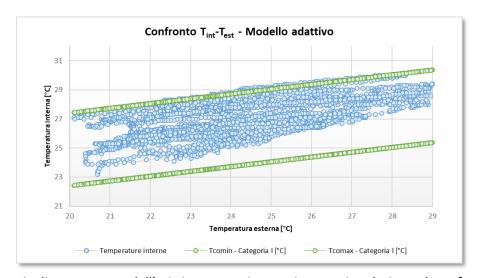
- presenza costante, in orario da ufficio, di tre persone, alle quali sarà associata un'attività metabolica leggera sedentaria, tipica del lavoro da ufficio;
- presenza di macchinari tipici da ufficio, quali stampanti e computer.





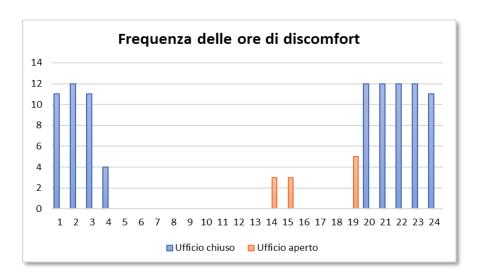


Le misure in opera mostrano un elevatissimo livello di comfort, pari 96% circa, sinonimo del fatto che il connubio tra un adeguato isolamento termico e l'utilizzo di dotazioni impiantistiche adeguatamente dimensionate riesca a garantire i livelli di comfort previsti dal modello adattivo. Il grafico mostra che l'approccio adattivo è utilizzabile anche nella gestione degli impianti di condizionamento estivo.



Misure orarie di temperatura dell'aria interna registrate riportate in relazione al comfort adattivo

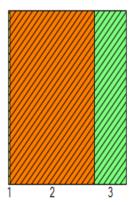
È inoltre interessante notare, grazie al grafico riportato di seguito, come le situazioni di discomfort si localizzino in orari in cui l'ufficio rimane chiuso (prevalentemente in ore notturne). L'analisi di questi dati è da effettuare in maniera critica in quanto il discomfort nelle ore notturne non va ad influire negativamente sul benessere termoigrometrico di chi vive la zona termica in quelle diurne.



Si riportano le caratteristiche principali dell'involucro oggetto d'analisi, in quanto coinvolto in prima persona nel raggiungimento del comfort termico previsto dal modello adattivo.

Elementi stratigrafia:

- 1. Rasatura esterna;
- 2. Blocchi di calcestruzzo cellulare, sp. 30 cm;
- Isolamento dall'interno, Stiferite RP, isolante in PU da 10 cm e 1,2 cm di cartongesso;



<u>Chiusura verticale esterna</u> Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [W/m²K]	<mark>0,10</mark>
Trasmittanza periodica [W/m²K]	<mark>0,00</mark>
Attenuazione	0,00
Sfasamento	11h 4'
Ammettenza interna [W/m²K]	0,3
Capacità termica periodica interna [kJ/m²K]	<mark>3,5</mark>
Capacità termica periodica esterna [kJ/m²K]	39,2
Ammettenza esterna [W/m²K]	2,9

6 CONCLUSIONI

Come indicato in premessa lo scopo del Manuale è di affrontare il tema dell'isolamento e comfort con particolare attenzione al tema estivo, focalizzandosi sulla temperatura operante interna, il comfort adattivo e il contributo delle strutture opache.

Rispetto a valutazioni standard teoriche di calcolo si è avviata una campagna di misura su tre ambienti differenti per confrontare i risultati dei modelli di calcolo con dati misurati in campo. La campagna di misura e il confronto dei dati è incoraggiante poiché nei tre casi in esame ai dati misurati corrisponde in modo adeguato l'informazione progettuale predittiva. Questo mostra come il modello adattivo sia uno strumento previsionale del comfort di un edificio.

I risultati della campagna sperimentale mostrano come un edificio isolato termicamente con dei valori di trasmittanza e trasmittanza termica periodica adeguati e nel rispetto dei limiti di legge, raggiunti utilizzando materiali isolanti idonei, risulti avere un adeguato comportamento estivo.

Lo studio ha confermato che la corretta progettazione di un ambiente ai fini del controllo del comfort interno passa da una conoscenza dei contributi che influenzano la temperatura operante:

- dispersione/apporti per trasmissione dalle superfici opache attraverso un'adeguata progettazione in accordo con i parametri delle UNI EN ISO 13786 e del rispetto dei limiti di legge
- apporti solari diretti dalle superfici trasparenti
- apporti interni di persone e cose
- dispersioni/apporti per ventilazione
- inerzia della zona termica

Uno buon progetto di isolamento termico delle strutture opache accompagnato da una corretta gestione dei ricambi orari e delle schermature solare è la base per l'ottenimento del comfort interno alle zone termiche

7 CONTATTI

- ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico <u>www.anit.it</u> info@anit.it
- **Stiferite**<u>www.stiferite.com</u>
 info@stiferite.com