



**ISOLAMENTO TERMICO E
COMFORT ESTIVO:
LE SOLUZIONI STIFERITE**

Sintesi di due indagini sperimentali condotte
in collaborazione con:

ANIT

Associazione Nazionale Isolamento Termico e
Acustico

Universidad Tecnológica de Panamá

Facultad de Ingeniería Mecánica

a cura:

Divisione Ricerca e Sviluppo

STIFERITE SpA

ing. Cristiano Signori

dott. Fabio Raggiotto

Aprile 2023 - Versione 1.2

stiferite[®]
l'isolante termico

Sommario

PREMESSA	4
BENESSERE TERMICO ESTIVO: contesto legislativo e normativo.....	9
Introduzione.....	9
Principali riferimenti legislativi.....	10
Principali riferimenti normativi.....	12
IL PROGETTO DI RICERCA ANIT - STIFERITE: MISURARE IL BENESSERE TERMICO ESTIVO	15
Caso studio 1 - Mansarda edificio residenziale Bellano (LC).....	16
Caso studio 2 - Aula edificio scolastico Chiari (BS).....	19
Caso studio 3 - Ufficio - Galbiate.....	22
PROGETTO DI RICERCA DELL' UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ, FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - COMFORT E RISPARMIO ENERGETICO IN CLIMA TROPICALE	24
Il contesto climatico e energetico.....	24
La sperimentazione	25
Temperature interne con impianto di condizionamento spento	26
Riduzione dei consumi elettrici per il condizionamento	27
Valutazione delle ricadute economiche	27
I pannelli STIFERITE utilizzati per le valutazioni e le sperimentazioni	29

PREMESSA**Il benessere termico estivo è un'esigenza reale che non deve essere banalizzata**

La corretta progettazione e realizzazione di edifici sempre più intelligenti e sostenibili deve soddisfare tante e diverse esigenze: ridurre i consumi energetici determinati dal funzionamento degli impianti di riscaldamento invernale e di raffrescamento estivo, garantire la salubrità degli ambienti e le necessarie condizioni di comfort termoigrometrico, limitare gli impatti ambientali in tutte le fasi di vita dell'edificio: da quella costruttiva, alla fase d'uso, fino alla sua dismissione, rispondere efficacemente alle necessità abitative di una società attraversata da rapidi cambiamenti demografici, ecc.

Tanti obiettivi che a volte possono sembrare tra loro in apparente contraddizione - suscitando dubbi del tipo: la ventilazione meccanica controllata di un edificio a consumo zero garantisce anche la salubrità dell'aria?, oppure, un edificio ambientalmente sostenibile lo sarà anche economicamente? - e che necessitano di scelte accurate e meditate per raggiungere il miglior risultato possibile.

Uno degli aspetti oggetto di dibattito riguarda l'efficacia dell'isolamento termico in regime invernale ed estivo: se è fuori di dubbio che strutture ben isolate riducano in modo sostanziale i consumi e le emissioni nocive determinate dagli impianti di riscaldamento, sussistono delle perplessità sul contributo dell'isolamento termico al miglioramento del comfort estivo ed alla riduzione dei consumi per il raffrescamento.

Nelle pagine che seguono proponiamo, oltre a una sintesi degli aspetti normativi, i risultati di due sperimentazioni - svolte in contesti climatici molto diversi - che testimoniano come comfort estivo e/o consumi elettrici ridotti siano assolutamente compatibili e siano favoriti dalla presenza di strutture opache correttamente isolate.

Risultati che non ci sorprendono poichè corrispondono alla realtà che riscontriamo sul mercato da oltre 50 anni con innumerevoli esperienze positive a tutte le latitudini e in tutte le stagioni.

Sicuramente il contesto estivo, caratterizzato da notevoli escursioni termiche orarie, richiede un approccio dinamico diverso da quello invernale e, soprattutto, prevede l'interazione di molteplici fattori che esulano dal contributo delle caratteristiche delle strutture opache: orientamento, ampiezza delle superfici vetrate, ombreggiature, ventilazione, carichi interni, ecc.

Proprio la complessità del tema dovrebbe sconsigliare alcuni approcci semplicistici che attribuiscono a un solo o a pochi fattori il compito di garantire temperature interne confortevoli anche nel periodo estivo.

In questa premessa evidenziamo nei box che seguono le semplificazioni più comuni.



**Si stava meglio quando si stava peggio?
“Nei castelli con i muri spessi d'estate si stava
sempre freschi”... VERO, ma:**

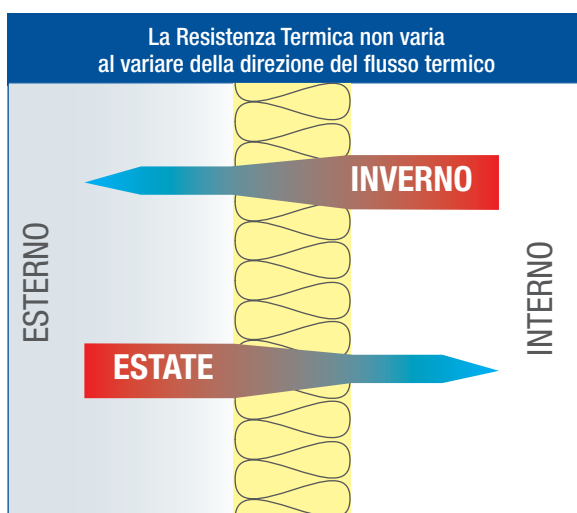
- Negli edifici storici, ma anche nei trulli pugliesi o nei nuraghi sardi, lo spessore dei muri è davvero molto elevato, da un minimo di un metro fino ad oltre quattro. Oltre alla massa imponente, strutture di questi spessori offrono comunque anche una buona trasmittanza termica (0,24 W/m²K per un muro in tufo di spessore 2,5 m) paragonabile a quella di una moderna muratura costituita da un laterizio forato di spessore 30 cm dotato di un sistema a cappotto che utilizzi 80 mm di pannelli isolanti in poliuretano.
- È del tutto evidente che strutture aventi questi spessori non sono utilizzabili dalle attuali tecniche costruttive per motivi di natura economica e sociale, di sfavorevole rapporto tra volume costruito e volume abitativo, di eccessivo sfruttamento di materiali naturali non rinnovabili, ecc.
- In queste tipologie di edifici le aperture per l'ingresso di luce e raggi solari sono assenti o molto piccole; ovviamente non compatibili con gli attuali limiti di rapporto aeroilluminante fissati per soddisfare esigenze di comfort e di igiene.
- Negli edifici storici non erano presenti gli impianti di riscaldamento, ci si affidava al solo calore prodotto dai camini con condizioni di comfort e salubrità spesso insufficienti.
- I modelli tramandati dalle architetture vernacolari sono esempi preziosi di architettura bioclimatica, che testimoniano la capacità dell'uomo di adattare il suo stile di vita all'ambiente e ai materiali che lo circondano in una logica di risparmio ed efficienza. La stessa che dobbiamo utilizzare oggi per adeguare i nostri edifici all'ambiente, alle attuali esigenze ed al contesto socio-economico in cui viviamo.



“Alcuni materiali isolano dal freddo ma non dal caldo”

FALSO

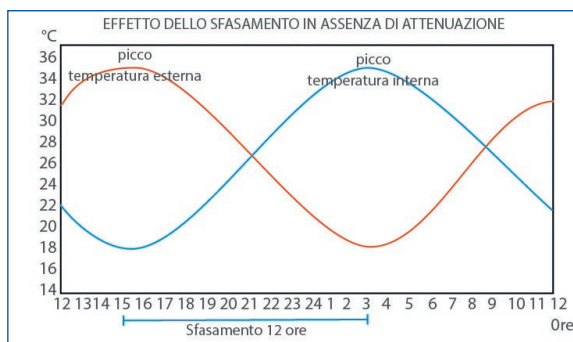
- Gli scambi di calore tra due corpi a differenti temperature avvengono per conduzione e/o convezione e/o irraggiamento. Le proprietà fisiche che descrivono le caratteristiche delle strutture edili e dei materiali che le compongono sono U ed R, di seguito definite:
 - U: la quantità di calore che passa attraverso 1 m² di una superficie in un'ora, quando la differenza di temperatura dell'aria aderente alle due facce della parete è pari a 1 kelvin.
 - R è uguale all'inverso di U ($R=1/U$) e rappresenta la capacità del materiale o dei materiali di cui è composta la struttura edile di opporsi al flusso di calore.
- Il flusso di calore avviene sempre dal lato caldo al lato freddo, che d'inverno corrisponde verso l'esterno dell'edificio e d'estate corrisponde verso l'interno dell'edificio.
- Ricordiamo che il primo impiego degli isolanti termici (e ancora oggi uno dei più importanti) è proprio quello della catena del freddo dove soprattutto i poliuretani vengono utilizzati per ridurre i consumi energetici di frigoriferi domestici e commerciali, celle frigorifere, trasporti refrigerati, ecc.
- Il contesto edilizio è peraltro, soprattutto in estate, molto più complesso di quello considerato per la catena del freddo:
 - gli impianti di condizionamento possono non essere presenti,
 - le escursioni termiche esterne possono essere molto rilevanti,
 - negli edifici sono presenti i carichi interni (determinati dalla presenza di persone, dalle attività di cottura, dalle apparecchiature in uso, ecc.),
 - gli scambi termici favoriti dall'irraggiamento delle superfici opache e trasparenti sono spesso determinanti.



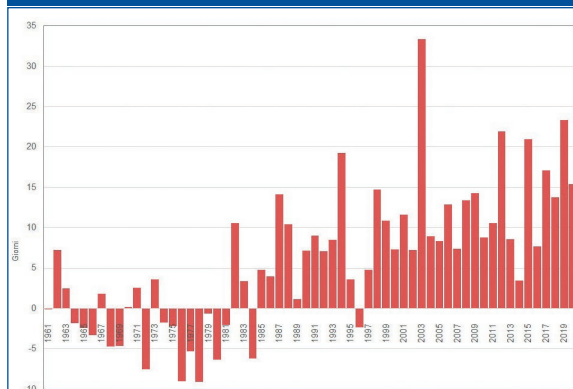
**“Per garantire il comfort estivo basta utilizzare strutture con uno sfasamento superiore a 10-12 ore”
FALSO**

Lo sfasamento indica il tempo che intercorre tra l'ora in cui si ha la massima temperatura esterna e l'ora in cui si ha la massima temperatura interna.

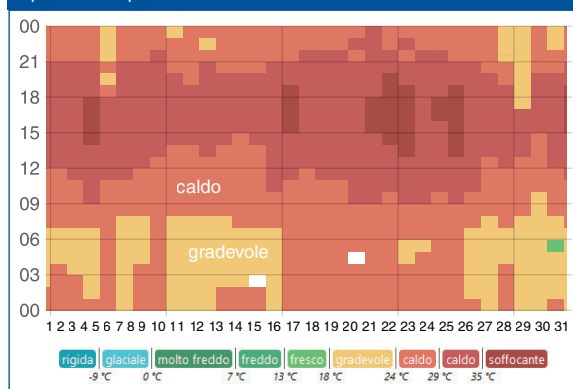
- Esasperando il concetto una superficie che offra un elevato sfasamento, ma nessuna resistenza termica determinerebbe, con il ritardo temporale dello sfasamento, temperature massime interne analoghe a quelle esterne.
- Si considera come ideale uno sfasamento di 10 o 12 ore partendo dal presupposto che la massima temperatura interna si registrerebbe durante le ore notturne quando la temperatura esterna più bassa consente l'apertura delle finestre e la ventilazione naturale.
- Affinché si tragga un reale beneficio dal solo sfasamento devono quindi verificarsi due condizioni:
 - l'occupante può gestire ed attivare una ventilazione naturale
 - l'escursione termica tra il giorno e la notte deve essere sufficientemente ampia da consentire alle strutture edilizie di smaltire verso l'esterno il calore accumulato.
- Il fenomeno delle isole di calore, comune ai contesti urbani, determina temperature notturne elevate. Il calore accumulato durante il giorno dagli edifici, dall'asfalto e dal cemento viene infatti rilasciato nelle ore che dovrebbero essere più fresche vanificando così l'effetto positivo dello sfasamento.
- Secondo le statistiche il numero di “notti tropicali” durante le quali la temperatura non scende sotto i 20° C, nel nostro Paese è in costante aumento (v. grafico ISPRA).
- A Milano, nel luglio del 2022 (v. grafico a lato), tutte le notti sono state tropicali e tutte le giornate hanno registrato valori massimi oltre i trenta gradi. Durante l'intera stagione estiva le notti tropicali a Milano sono state ben 81 e la stazione meteorologica di Milano Duomo ha registrato a luglio 7 notti con temperature superiori ai 25 °C.



1962- 2019 Numero notti tropicali
(Ispra - Annuario dei dati ambientali - <https://annuario.isprambiente.it>)



Milano - Temperatura oraria nel mese di luglio 2022
<https://it.weatherspark.com>

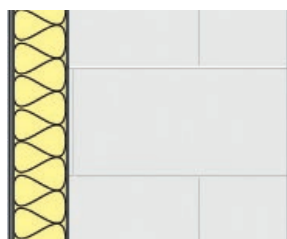


- Per ottenere temperature interne confortevoli è necessario associare alla prestazione di sfasamento dell'onda termica quella della sua riduzione: il fattore di attenuazione o decremento (f_a) che dipende essenzialmente dalle prestazioni isolanti.
- La trasmittanza termica periodica Y_{ie} (W/m^2K) è il parametro che valuta la capacità di una struttura sia di sfasare e sia di attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore. La trasmittanza termica periodica, determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786, è quindi il parametro che descrive meglio il comportamento estivo di una struttura in regime dinamico.

“Per ottenere buoni valori di trasmittanza termica periodica (Y_{ie}) è necessario utilizzare materiali isolanti dotati di masse elevate” FALSO

- Il DPR 59/2009 ha introdotto, per le località con irradianza al suolo maggiore o uguale a 290 W/m² e per alcune tipologie di edifici, la valutazione del comportamento estivo delle strutture opache.
- Il Decreto Requisiti Minimi, DM 26 Giugno 2015, ha escluso dalle verifiche le prestazioni di sfasamento e attenuazione per adottare quelle, alternative, di massa e trasmittanza termica periodica:
 - Per le strutture opache verticali (escluse quelle nei quadranti Nord, Nord-Ovest e Nord-Est) verifiche alternative:
 Massa superficiale $M_s > 230 \text{ kg/m}^2$
 o
 $Y_{ie} < 0,10 \text{ [W/m}^2\text{K]}$
 - Per le strutture opache orizzontali e inclinate non si prevede l'opzione di utilizzare masse elevate - per ovvie ragioni di statica delle costruzioni - e si richiede la sola verifica della trasmittanza termica periodica che deve raggiungere il valore:
 $Y_{ie} < 0,18 \text{ [W/m}^2\text{K]}$
- Il modulo di Y_{ie} indica la capacità della parete opaca di sfasare - prestazione che dipende dalla massa della parete - ed attenuare il flusso termico che la attraversa in un giorno. Questo parametro consente al progettista di scegliere, in funzione delle caratteristiche dell'edificio, se agire sulla massa o sul livello di isolamento della struttura per ottenere il risultato atteso.
- Nel caso degli isolanti termici va sottolineato che nonostante le loro masse possano avere valori sostanzialmente diversi - dai 20 ai 200 kg/m³ - queste incidono ben poco nel calcolo della trasmittanza termica periodica che risulta, soprattutto per le pareti, pesantemente influenzata dalla massa delle strutture portanti.

**Trasmittanza termica periodica di pareti perimetrali con sistema a cappotto
Confronto a parità di trasmittanza termica**



1 2 3

STRATIGRAFIA

- 1) Rasatura esterna
- 2) STIFERITE Class SK spessore 60 mm
- 3) Blocchi forati spessore 250 mm

“A”
Massa strato isolante
35 kg/m³



1 2 3

STRATIGRAFIA

- 1) Rasatura esterna
- 2) Pannelli rigidi in fibre minerali spessore 80 mm
- 3) Blocchi forati spessore 250 mm

“B”
Massa strato isolante
100 kg/m³

Parete perimetrale “A”	
Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [U, W/m ² K]	0,305
Trasmittanza Periodica [Y_{ie} , W/m ² K]	0,061
Attenuazione	0,201
Sfasamento	9,60 h
Ammettenza interna [W/m ² K]	2,778
Capacità termica areica interna [kJ/m ² K]	39,0
Capacità termica areica esterna [kJ/m ² K]	11,2
Ammettenza esterna [W/m ² K]	0,758

Parete perimetrale “B”	
Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [U, W/m ² K]	0,319
Trasmittanza Periodica [Y_{ie} , W/m ² K]	0,064
Attenuazione	0,200
Sfasamento	9,99 h
Ammettenza interna [W/m ² K]	2,777
Capacità termica areica interna [kJ/m ² K]	39,1
Capacità termica areica esterna [kJ/m ² K]	12,6
Ammettenza esterna [W/m ² K]	0,858

BENESSERE TERMICO ESTIVO: contesto legislativo e normativo

Introduzione

La grande variabilità climatica che caratterizza il nostro Paese, i temuti effetti dei cambiamenti climatici in atto e la crescente domanda di comfort termico in tutte le stagioni rendono evidente la necessità di contenere, oltre ai consumi energetici per il riscaldamento, anche quelli determinati dal condizionamento che rappresentano, in molte zone d'Italia, una quota non più trascurabile dei consumi.

L'approccio progettuale al comfort termico estivo degli ambienti richiede scelte molto ponderate: non può infatti basarsi su un regime pressochè stazionario come è quello invernale; durante l'estate le condizioni climatiche esterne subiscono variazioni importanti, in termini di temperatura ed irraggiamento, e richiedono quindi una valutazione dinamica del comportamento degli edifici.

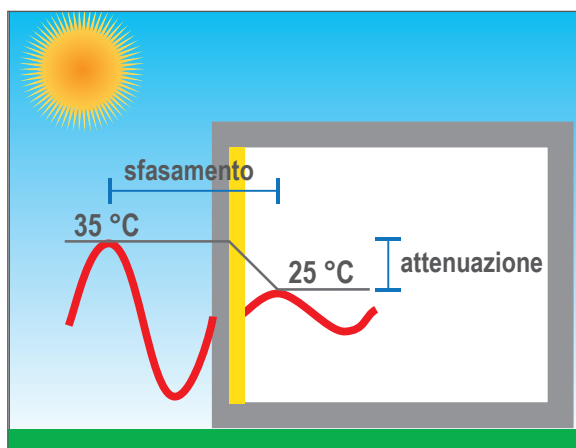
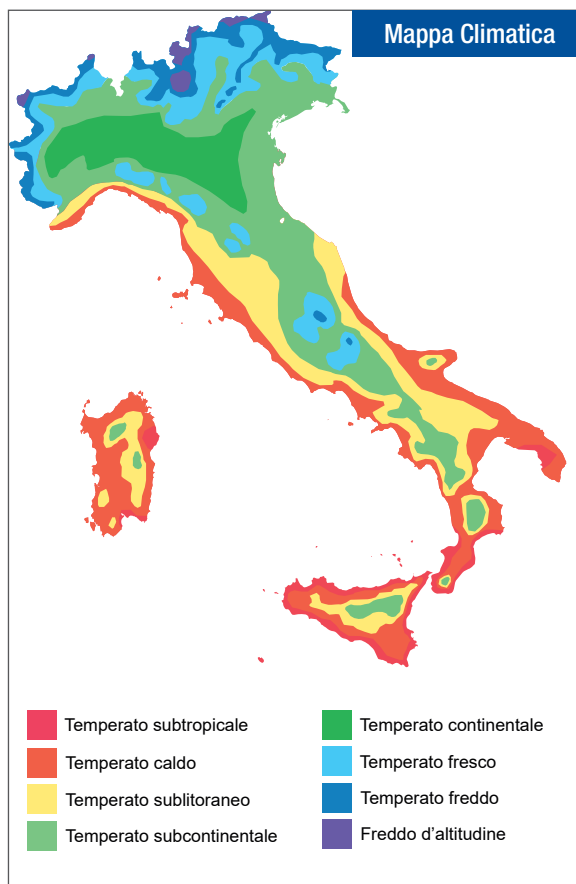
La complessità del tema ha richiesto importanti approfondimenti, metodologici, sperimentali e normativi, che hanno comportato il superamento delle valutazioni semplicistiche che affidavano al solo parametro della massa e dello sfasamento temporale il compito di limitare il surriscaldamento estivo degli ambienti.

Una progettazione orientata all'efficienza energetica, sia estiva e sia invernale, ed al comfort termico degli ambienti nelle stagioni calde anche in assenza di impianti di raffrescamento, deve impegnarsi a garantire:

- un livello di isolamento termico delle strutture opache (trasmittanza termica periodica) in grado di limitare l'energia solare entrante;
- la capacità delle parti trasparenti di evitare l'ingresso di energia solare per mezzo della parte vetrata, delle schermature mobili e di quelle fisse;
- la possibilità di impiegare la ventilazione/aerazione ai fini della dissipazione dell'energia termica prodotta o accumulata;
- corretta gestione dei carichi interni;
- la corretta valutazione della capacità termica complessiva dell'ambiente interno.

Anche per il comportamento estivo è rilevante il ruolo della componente opaca che, in regime dinamico, è rappresentato dalla trasmittanza termica periodica che valuta la capacità di una superficie opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore.

La valutazione del parametro di trasmittanza termica periodica, introdotta dalla norma UNI EN ISO 13786, ha consentito di verificare, sia in modo analitico e sia sperimen-



talmente, il buon comportamento estivo di strutture, anche leggere, dotate di un adeguato isolamento termico.

È, quindi, una conferma importante del ruolo che un efficace isolamento termico dell'involucro opaco svolge sia per l'efficienza energetica globale degli edifici e sia per il miglioramento del comfort degli ambienti in tutte le stagioni.

Principali riferimenti legislativi

DM 26/06/15 - Metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei REQUISITI MINIMI degli edifici




Il decreto valuta la qualità estiva degli involucri edilizi attraverso diversi parametri in funzione del tipo di intervento, della destinazione d'uso e delle condizioni climatiche (v. Tabella)

REQUISITI MINIMI - Parametri estivi considerati	Tipologia di intervento
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento [kWh/m ²] $EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}$	<ul style="list-style-type: none"> • Edifici Nuovi • Demolizioni e Ricostruzioni • Ampliamento e nuovo impianto • Ristrutturazioni importanti di I livello
Località con valore medio mensile di irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$ (esclusa zona climatica F): <ul style="list-style-type: none"> • Pareti opache verticali (escluse quelle nel quadrante Nord-ovest/Nord/Nord-Est) rispetto di almeno una delle seguenti condizioni: $M_s > 230 \text{ kg/m}^2$ o $Y_{IE} < 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ • Coperture orizzontali e inclinate: $Y_{IE} < 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ <p>M_s: massa superficiale della parete opaca compresa la malta dei giunti ed esclusi gli intonaci [kg/m²]. Y_{IE}: trasmittanza termica periodica [W/m²K].</p>	Esclusi dalla verifica gli edifici di categoria E6 e E8 <ul style="list-style-type: none"> • Edifici Nuovi • Demolizioni e Ricostruzioni • Ampliamento e nuovo impianto • Ristrutturazioni importanti di I livello
$A_{sol,est} / A_{sup\ utile} < 0,030$ per categoria E1 (esclusi collegi, caserme, conventi, ecc.) $A_{sol,es} t / A_{sup\ utile} < 0,040$ per tutti gli altri edifici $A_{sup\ utile}$: area della superficie utile dell'edificio; $A_{sol,est}$: area solare equivalente estiva dell'edificio [m ²] calcolata come sommatoria delle aree equivalenti estive di ogni componente vetrato	<ul style="list-style-type: none"> • Edifici Nuovi • Demolizioni e Ricostruzioni • Ampliamenti con estensione o sostituzione dell'impianto • Ristrutturazioni importanti di I livello
Chiusure tecniche trasparenti delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno con orientamento da Est a Ovest, passando per Sud: $g_{gl+sh} \leq 0,35$ g_{gl+sh} : valore del fattore di trasmissione solare totale della componente finestrata, quando la schermatura solare è utilizzata	<ul style="list-style-type: none"> • Ristrutturazioni importanti di II livello • Riqualificazioni energetiche
Valutazione puntuale e documentata dell'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare	<ul style="list-style-type: none"> • Edifici Nuovi • Demolizioni e Ricostruzioni • Ampliamenti e nuovo impianto • Ristrutturazioni importanti di I livello
Strutture di copertura: verifica dell'efficacia, in termini di rapporto costi-benefici, dell'utilizzo di: <ul style="list-style-type: none"> • materiali a elevata riflettanza solare per le coperture (cool roof), assumendo per questi ultimi un valore di riflettanza solare non inferiore a 0,65 nel caso di coperture piane e a 0,30 nel caso di copertura a falde; • tecnologie di climatizzazione passiva (a titolo esemplificativo e non esaustivo: ventilazione, coperture a verde) 	<ul style="list-style-type: none"> • Edifici Nuovi • Demolizioni e Ricostruzioni • Ampliamenti con estensione o sostituzione dell'impianto • Ristrutturazioni importanti di I livello • Ristrutturazioni importanti di II livello • Riqualificazioni energetiche

DM 26/06/15 - Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (APE)

Il decreto che fissa le modalità per il rilascio dell' Attestato di Prestazione Energetica (APE) prevede l'indicazione qualitativa delle prestazioni energetiche invernali ed estive dell'involucro edilizio al netto dell'efficienza dell'involucro. Per la valutazione della qualità estiva dell'involucro (v. Tabella) si utilizzano le combinazioni dei due parametri principali:

- la trasmittanza termica periodica Y_{ie}
- l'area solare equivalente A_{sol}

APE			
Indicatore della prestazione energetica estiva dell'involucro, al netto dell'efficienza degli impianti presenti			
Prestazione estiva dell'involucro		Qualità	Indicatore
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} \leq 0,03$	$Y_{ie} \leq 0,14$	ALTA	
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} \leq 0,03$	$Y_{ie} > 0,14$	MEDIA	
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} > 0,03$	$Y_{ie} \leq 0,14$		
$A_{sol,est}/A_{sup\ utile} > 0,03$	$Y_{ie} > 0,14$	BASSA	

DM 23/06/2022 - Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi.

Il nuovo Decreto CAM, in vigore dal dicembre del 2022, prevede per la riqualificazione energetica e la ristrutturazione importante di primo e secondo livello di edifici con superficie uguale o superiore a 5000 m² una diagnosi energetica "dinamica" effettuata con il metodo dinamico orario della norma UNI EN ISO 52016-1 utilizzato anche per il calcolo della temperatura operante.

I requisiti richiesti variano in funzione del tipo di intervento (v. Tabella).

Per il benessere termico (art.2.4.6) e la qualità dell'aria interna si richiedono condizioni conformi almeno alla classe B in termini di PMV (Voto Medio Previsto) e di PPD (Percentuale Prevista di Insoddisfatti) (norma UNI EN ISO 7730) e la verifica di assenza di discomfort locale.

CAM DM 23/06/2022 art. 2.4.2	
Tipologia di intervento	Comfort termico per gli Edifici Pubblici
<ul style="list-style-type: none"> • Edifici Nuovi • Demolizioni e Ricostruzioni • Ristrutturazioni importanti di I livello 	<p>Opzioni alternative:</p> <ul style="list-style-type: none"> • massa superficiale delle strutture opache verticali $\geq 250 \text{ kg/m}^2$ • Trasmittanza termica periodica Y_{ie} inferiore al valore di $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le pareti opache verticali (ad eccezione di quelle nel quadrante Nordovest/Nord/Nord-Est) ed inferiore a $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le pareti opache orizzontali e inclinate. • tra il 20 giugno e il 21 settembre, almeno nell'85% delle ore di occupazione del locale, la differenza tra la temperatura operante (in assenza di impianto di raffrescamento) e la temperatura di riferimento deve essere inferiore a 4°C
<ul style="list-style-type: none"> • Ristrutturazioni importanti di II livello • Riqualificazioni energetiche • Ampliamenti 	<ul style="list-style-type: none"> • Gli interventi non devono peggiorare il comfort estivo (verifica mediante valutazioni delle singole strutture o calcoli dinamici)

Linee di Indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale Ministero della Cultura - Novembre 2015

Le Linee non prevedono requisiti prescrittivi, ma invitano la progettazione a valutare il comfort termico utilizzando la norma UNI EN 15251 e ad adottare misure progettuali che favoriscano il raffrescamento passivo degli edifici (trasmittanza termica periodica, sfasamento e attenuazione, capacità termica, schermature, ecc.)

DLgs. 9/04/2008, n. 81 - Tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

Il decreto prescrive che il datore di lavoro valuti i rischi connessi alle condizioni microclimatiche degli ambienti di lavoro e, pur non definendo valori limite, prevede il controllo di aerazione, temperatura ed umidità in funzione del tipo di attività svolta dal lavoratore. Nel 2019 INAIL ha rilasciato un documento dedicato al Comfort Termico che per la valutazione degli Ambienti Moderati utilizza i criteri e i metodi di calcolo della norma la 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).

Principali riferimenti normativi

Il concetto di comfort termico, definito come “la condizione mentale di soddisfazione nei confronti dell’ambiente termico”, si basa su parametri ambientali misurabili:

- Temperatura dell’aria che circonda il corpo;
- Temperatura media radiante, media delle temperature delle superfici;
- Umidità relativa dell’aria;
- Velocità dell’aria rispetto al corpo

e su condizioni/sensazioni soggettive non quantificabili se non a livello statistico:

- Grado di attività e metabolismo;
- Tipo di vestiario.

La componente soggettiva rende particolarmente complesso l’approccio normativo che ha comportato, a partire dagli anni ‘60, lo sviluppo di due principali modelli: il Modello di Fanger e il Comfort Adattivo.

UNI EN ISO 7730:2006 - Ambienti termicamente moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifiche per le condizioni di benessere termico

UNI EN ISO 13786:2018 - Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo

UNI EN 15251:2008 – 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

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

UNI EN 16798-1:2019 - Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell’ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell’aria interna, all’ambiente termico, all’illuminazione e all’acustica (aggiorna e sostituisce UNI EN 15251)

Modello di Fanger

Il modello di Fanger fa riferimento a studi statistici condotti in laboratorio ed è alla base di norme utilizzate soprattutto per ambienti dotati di impianto di condizionamento (UNI EN ISO 7730:2006).

Il modello definisce temperature ottimali in funzione di sei variabili:

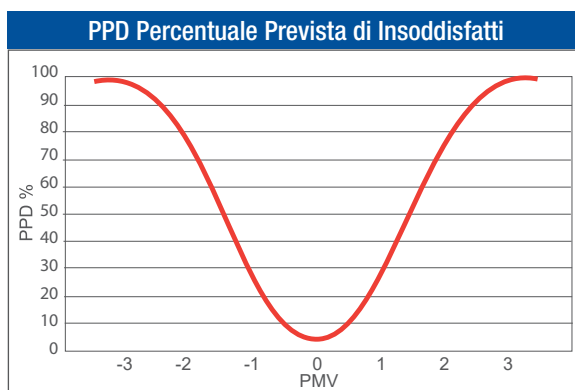
- temperatura (T_a)
- umidità relativa (U_r)
- velocità dell’aria (v)
- temperatura media radiante ($T_{m,rad}$), media delle temperature delle superfici che delimitano l’ambiente
- isolamento termico del vestiario (clo)
- livello di attività metabolica (met)

Prevede l’utilizzo degli indici:

- **PMV (Voto Medio Previsto)** Prevede il giudizio soggettivo di un gruppo di persone nei confronti dell’ambiente integrando l’equazione di bilancio termico e l’analisi statistica
- **PPD (Percentuale Prevista di Insoddisfatti)** Prevede la percentuale di utenti insoddisfatti nei confronti dell’ambiente supponendo che questa non possa essere inferiore al 5%

In questo modello l’occupante ha un ruolo passivo e non si considerano i fattori climatici, culturali, sociali e comportamentali che possono contribuire a modificare le aspettative di comfort termico.

PMV Voto Medio Previsto	
VOTO	Sensazione termica soggettiva
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Confortevole – neutralità
-1	Leggermente freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo



Questa impostazione presuppone un range molto limitato di temperature ottimali pressochè costanti ed è quindi applicabile soprattutto in ambienti dotati di impianto di raffrescamento.

Utilizzando il metodo di Fanger la norma UNI 7730 considera per la classificazione anche il contributo di discomfort locali (correnti d'aria, differenza verticale della temperatura dell'aria, pavimenti caldi o freddi e asimmetria radiante).

La norma UNI 15521 classifica gli ambienti termici accettabili per il benessere in funzione delle esigenze/ aspettative degli occupanti

UNI 7730 - Classificazione						
Categoria	Stato Termico complessivo		Discomfort termico locale			
	PPD (%)	PMV	Corrente d'aria DR (%)	Differenza temperatura verticale PD (%)	Pavimenti caldi o freddi PD (%)	Asimmetria radiante PD (%)
Classe A	<6	-0,2<PMV<+0,2	<10	<3	<10	<5
Classe B	<10	-0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
Classe C	<15	-0,7<PMV<+0,7	<30	<10	<15	<10

UNI 15251 - Classificazione			
Categoria	Comfort globale		Spiegazione categorie
	PPD (%)	PMV	
I	<6	-0,2<PMV<+0,2	Alto livello di aspettativa, requisiti specifici (bambini, malati, ecc.)
II	<10	-0,5<PMV<+0,5	Aspettativa normale nuove costruzioni e ristrutturazioni
III	<15	-0,7<PMV<+0,7	Aspettativa moderata, edifici esistenti
IV	>15	PMV<0,7 e >0,7	Accettabile solo per parte dell'anno

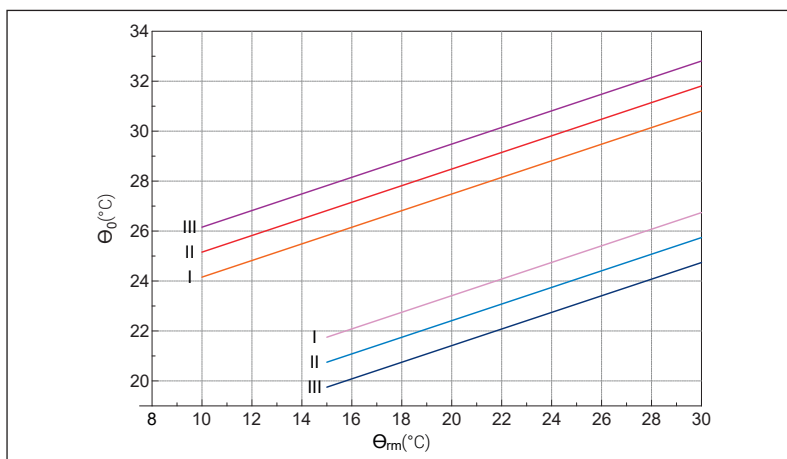
Modello di Comfort Adattivo

Il modello deriva da studi condotti su edifici reali e, approfondendo la componente soggettiva insita nel concetto di percezione di benessere, considera il ruolo attivo degli occupanti che spontaneamente adattando i loro comportamenti all'ambiente che li circonda.

La capacità di adattamento contribuisce alla gestione del microclima interno e consente di ridurre il ricorso a sistemi impiantistici permettendo

di raggiungere condizioni di comfort con costi energetici nulli (in assenza di impianto, "free running") o bassi. Secondo il modello adattivo la temperatura operativa ottimale (Θ_o) viene determinata, in Europa e per temperature esterne tra 10°C e 30°C, mediante l'equazione:

$$\Theta_o = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8$$
 che dipende dal parametro Θ_{rm} , ovvero dalle oscillazioni di temperatura esterna dei periodi precedenti.



UNI 16798 - Classificazione	
Categoria I	limite superiore: $\Theta_o = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8 + 2$ limite inferiore: $\Theta_o = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8 - 3$
Categoria II	limite superiore: $\Theta_o = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8 + 3$ limite inferiore: $\Theta_o = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8 - 4$
Categoria III	limite superiore: $\Theta_o = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8 + 4$ limite inferiore: $\Theta_o = 0,33 * \Theta_{rm} + 18,8 - 5$

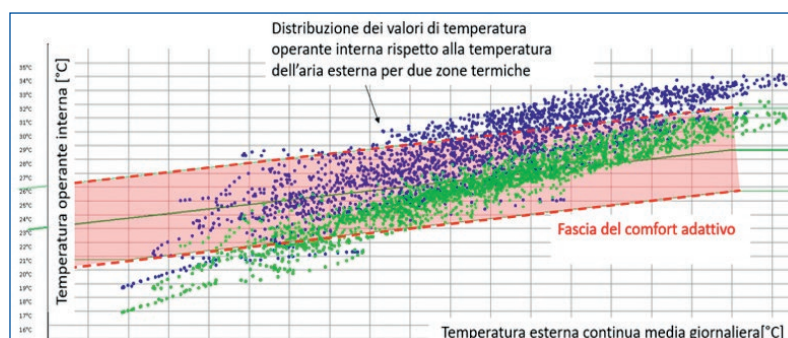
Per il modello adattivo le temperature di comfort sono quelle che si collocano in un intervallo definito rispetto alla temperatura ottimale.

La norma UNI EN 16798-1:2019 stabilisce gli intervalli di comfort che caratterizzano le diverse categorie (v. grafico e Tabella).

Individuata la “fascia di comfort” desiderata è possibile inserire all’interno del grafico la nuvola di punti che rappresentano le condizioni di temperatura interna.

Dall’esempio di grafico a lato è intuibile che più la “nuvola di punti” cadrà all’interno della “fascia di comfort”, tanto più sarà soddisfatta la condizione di comfort delle due zone termiche esaminate.

Risultano evidenti le potenzialità del modello adattivo come strumento di previsione del comfort in edifici ad



alte prestazioni e di controllo delle scelte progettuali legate al solo involucro edilizio, questo anche grazie

allo sviluppo di software dedicati che agevolano in maniera significativa il progettista nel processo di analisi.

Modello di Calcolo Dinamico Orario: gli input e le procedure dei software dedicati

La norma UNI EN ISO 52016-1 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 permette di analizzare in maniera molto precisa i componenti opachi dell’edificio, con particolare attenzione al loro comportamento inerziale su base oraria valutando, per ogni struttura, la temperatura media radiante.

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

- **dati climatici su base oraria** (temperatura oraria dell’aria esterna, contenuto di umidità dell’aria esterna, irradianza solare oraria, diretta, diffusa, su piano orizzontale e su superfici variamente inclinate)
- **contributi di bilancio** (carico e scarico per trasmissione e per ventilazione, apporti solari e apporti interni, ecc).

L’appendice nazionale A della norma valuta gli aspetti inerziali dell’involucro utilizzando uno schema RC (Resistenze - Condensatori) che prevede la descrizione dell’intera stratigrafia con l’indicazione, per ciascun materiale presente, di posizione, spessore, conduttività termica, calore specifico e densità.

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

1. Valutazione temperatura operante interna (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 necessario attivare l’impianto, il che porterà ad un dato di output di potenza nulla;
4. Qualora 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. 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. Se la verifica di cui al punto 5 risulta pienamente soddisfatta si avrebbe la conferma che la potenza fornita dagli impianti sia sufficiente per

soddisfare il fabbisogno energetico dell’edificio.

Il confronto di regime dinamico 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 servizi energetici che permette di evitare il sovradimensionamento impiantistico;
- la valutazione dell’efficacia dei sistemi di controllo solare e del comportamento inerziale dell’involucro.

La ricerca ANIT (Associazione Nazionale Isolamento Termico e acustico), realizzata in collaborazione con STIFERITE e di cui proponiamo una sintesi, mette a confronto i dati di temperatura registrati in opera con quelli predittivi del software di simulazione dinamica ICARO evidenziando l’importanza e l’attendibilità delle stime progettuali ottenibili con valutazioni dinamiche.

Il progetto di ricerca ANIT - STIFERITE MISURARE IL BENESSERE TERMICO ESTIVO

Nel corso del 2020 STIFERITE, con la collaborazione tecnica e scientifica di ANIT, ha svolto una campagna di misure in opera allo scopo di valutare le condizioni ambientali di diverse tipologie di edifici tutti dotati di isolamento termico in pannelli STIFERITE.

La campagna di misure delle temperature interne, rapportate a quelle esterne rilevate da stazioni ARPA, si è svolta tra il 29 giugno ed il 21 luglio 2020 ed ha coinvolto particolari zone termiche di edifici con diverse destinazioni d'uso:

- Mansarda di edificio residenziale sito a Bellano (Lecco) - senza impianto di raffrescamento
- Aula di edificio scolastico sito a Chiari (Brescia) - senza impianto di raffrescamento
- Ufficio sito a Galbiate (Lecco) - con impianto di raffrescamento

Le misure registrate sono state confrontate con quelle risultanti dalle valutazioni di calcoli predittivi ottenuti con software di simulazioni dinamiche (software ICARO).

Nelle pagine che seguono riportiamo i risultati più significativi rimandando, per l'analisi completa dei dati, al manuale di approfondimento tecnico ANIT "Isolamento e Comfort - Il benessere estivo: il modello adattivo" pubblicato nel giugno 2021.



Mansarda senza impianto di raffrescamento - Bellano



Aula scolastica senza impianto di raffrescamento - Chiari



Ufficio con impianto di raffrescamento - Galbiate



ANIT

ISOLAMENTO E COMFORT

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

GIUGNO 2021

IL BENESSERE ESTIVO: IL MODELLO ADATTIVO



Benessere termico dell'essere umano: conservazione della temperatura corporea attorno ai 37°C.



Studio previsionale del comfort in condizioni non controllate: free running.





Quattro categorie di comfort secondo UNI EN 16798-1:2019.

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

ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
www.anit.it

Caso studio 1

Mansarda edificio residenziale Bellano (LC)

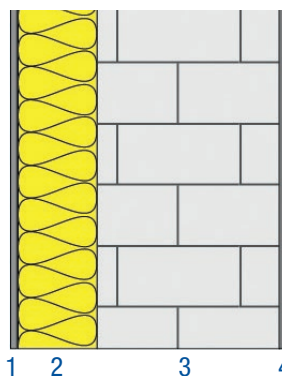
La zona termica valutata ha una superficie di circa 15 m² ed è delimitata da:

- pareti perimetrali in laterizio con isolamento a cappotto realizzato con pannelli STIFERITE Class SK da 12 cm;
- copertura in legno ventilata ed isolata con pannelli STIFERITE GT da 14 cm;
- serramenti 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.

La composizione e le prestazioni termiche delle pareti perimetrali e della copertura sono indicati negli schemi.



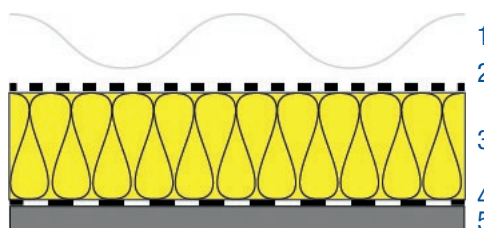
Parete perimetrale	
Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [U, W/m ² K]	0,183
Trasmittanza Periodica [Y _{ie} , W/m ² K]	0,041
Attenuazione	0,02
Sfasamento	9h53'
Ammettenza interna [W/m ² K]	53,86
Capacità termica periodica interna [kJ/m ² K]	12,32
Capacità termica periodica esterna [kJ/m ² K]	3,87
Ammettenza esterna [W/m ² K]	0,86



STRATIGRAFIA

- 1) Rasatura esterna
- 2) STIFERITE Class SK 12 cm
- 3) Muratura in blocchi semipieni 30 cm
- 4) Intonaco interno

Copertura	
Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [U, W/m ² K]	0,150
Trasmittanza Periodica [Y _{ie} , W/m ² K]	0,130
Attenuazione	0,88
Sfasamento	3h35'
Ammettenza interna [W/m ² K]	21,14
Capacità termica periodica interna [kJ/m ² K]	4,51
Capacità termica periodica esterna [kJ/m ² K]	1,46
Ammettenza esterna [W/m ² K]	0,28



STRATIGRAFIA

- 1) Tegole e strato di ventilazione (caratteristiche non valutate)
- 2) Membrana impermeabile
- 3) STIFERITE GT 14 cm
- 4) Schermo al vapore
- 5) Assito in legno

La zona termica analizzata è destinata al reparto notte, non è dotata di impianto di raffrescamento e gli utilizzatori hanno espresso un giudizio positivo sul livello di comfort ottenuto. Una valutazione positiva confermata dalla registrazione delle temperature medie operanti interne (grafico 1) che si collocano tutte nel range fissato dal modello adattivo alla Categoria I della norma UNI EN 16798-1:2019 (da +3° a -4° C rispetto alla temperatura ottimale) raggiungendo la percentuale del 100% di utenti soddisfatti.

Le stime predittive ottenute mediante il software ICARO (grafico 2), ed ipotizzando la presenza notturna di due occupanti in condizioni metaboliche di riposo, si discostano di poco da quelle misurate e fanno registrare il 96% di soddisfazione.

Il monitoraggio ha previsto anche delle misure termoflussimetriche per valutare l'andamento delle temperature superficiali, interne ed esterne, delle strutture opache ed il flusso passante attraverso di esse.

Nei grafici 3 e 4 si riportano i dati registrati, per la parete e per la copertura nell'arco delle 24 ore, dalle ore 13 del 7 luglio alle 13 del giorno successivo.

Dall'analisi dei flussi si ricava che l'energia solare entrante attraverso le strutture nelle 24 ore è stata pari a 97 kJ/m² per la parete e 77 kJ/m² per la copertura.

L'andamento delle curve evidenzia le capacità attenuanti dello strato isolante in poliuretano che rendono le piccole variazioni della temperatura superficiale interna pressoché indipendenti dall'andamento di quella esterna.

Il confronto tra i dati ottenuti mediante misure e quelli calcolati con simulazioni dinamiche (tutti leggermente peggiorativi) attesta la validità e l'importanza delle valutazioni predittive che, fin dalla fase progettuale, devono essere orientate ad assicurare il più elevato livello di comfort.

Grafico 1. Misure orarie di temperatura dell'aria interna riportate in relazione al comfort adattivo

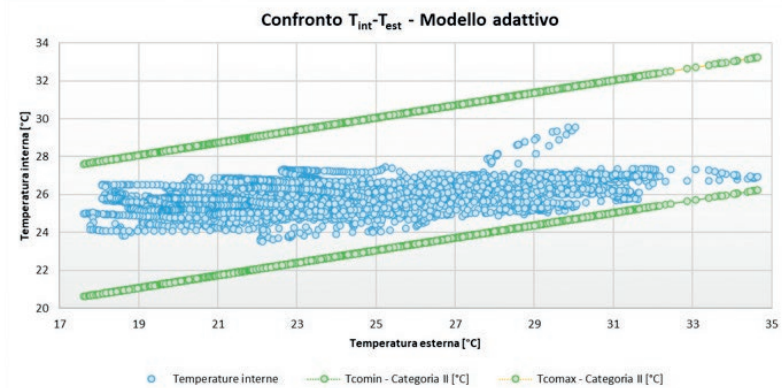


Grafico 2. Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo

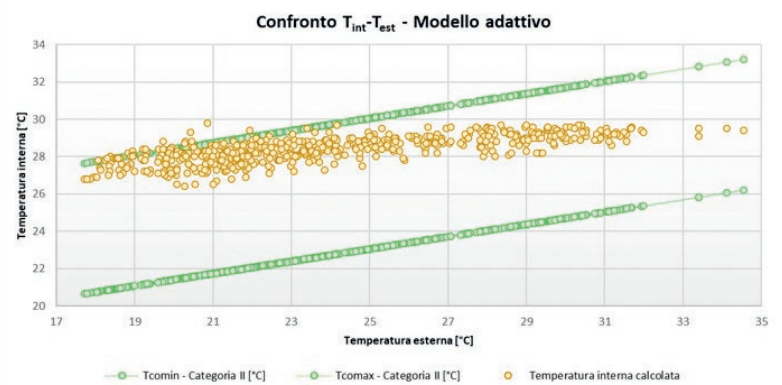


Grafico 3. PARETE: andamento temperature superficiali

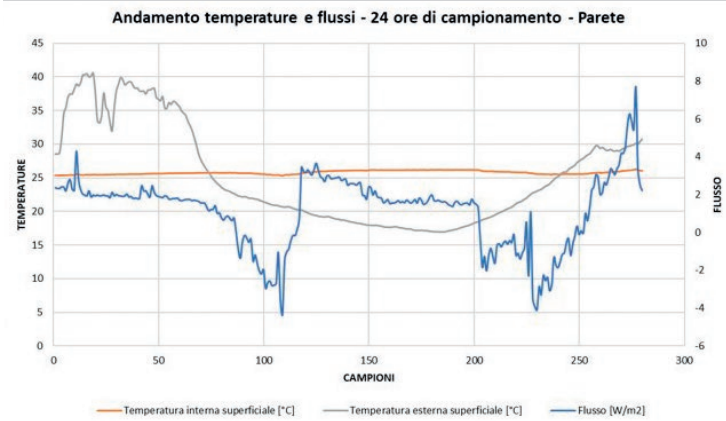
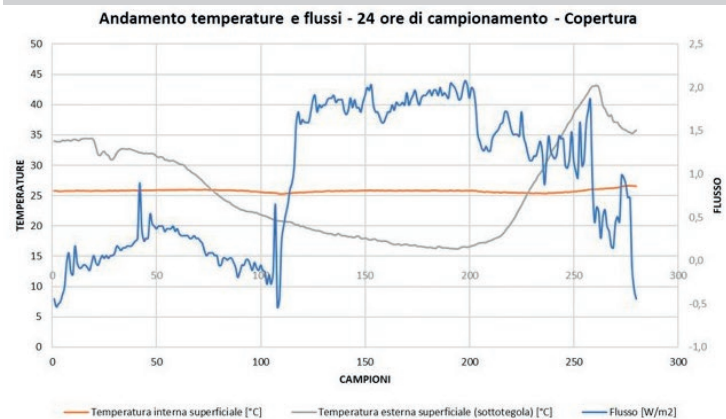


Grafico 4. COPERTURA: andamento temperature superficiali



A conclusione dello studio ANIT propone anche una valutazione del comportamento estivo delle stesse strutture prive dello strato isolante.

Il ruolo determinante di un efficace isolamento termico risulta evidente sia per la parete, dotata di massa superiore ai 200 kg/m², e sia per la copertura.

L'energia entrante aumenta in tutti e due i casi di un ordine di grandezza: da 136 a 1171 kJ/m² giorno per la parete (Figura 1 e 2) e da 52 a 1560 kJ/m² giorno per la copertura. Ad un così significativo aumento dell'energia entrante corrisponde un incremento della temperatura superficiale che, per la parete, passa da 26 a 30° C determinando condizioni di discomfort.

Figura 1. PARETE ISOLATA: energia entrante

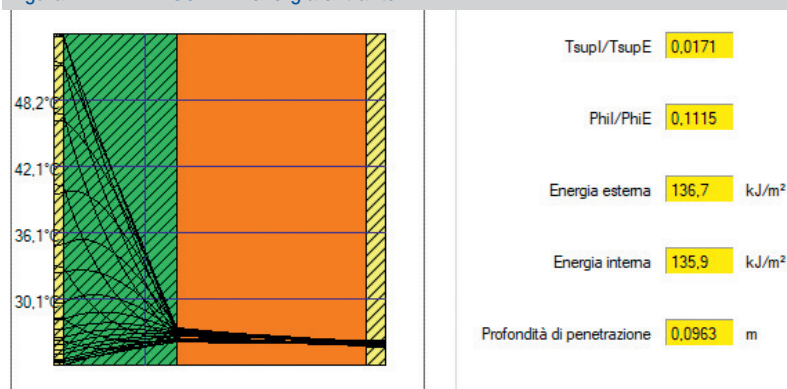
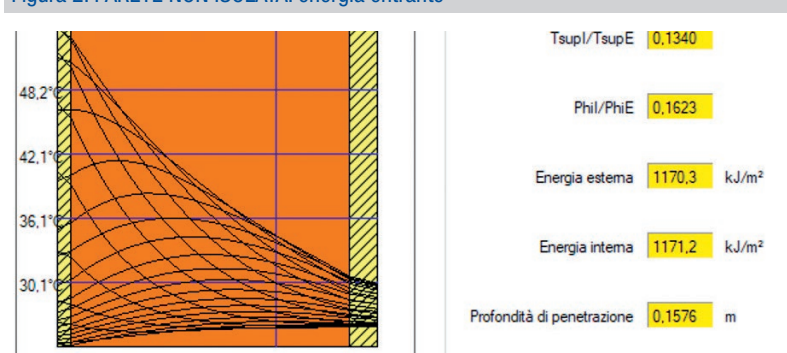


Figura 2. PARETE NON ISOLATA: energia entrante



Caso studio 1 - Mansarda edificio residenziale Bellano (LC)

Alcune considerazioni:

- Un corretto isolamento termico, che assicuri valori adeguati sia di trasmittanza termica, U, e sia di trasmittanza termica periodica, Y_{ie}, oltre a consentire una rilevante riduzione dei consumi energetici durante la stagione invernale, contribuisce a migliorare il comfort abitativo anche nelle stagioni più calde.
- **A fronte delle variazioni delle temperature superficiali esterne - da 17° fino a più di 40° C - le temperature superficiali interne hanno subito variazioni minime mantenendosi sempre a livelli di comfort (25-26° C)**
- **Lo strato isolante riduce in modo significativo il flusso di energia solare che attraversa le strutture opache e consente il raggiungimento di condizioni termiche confortevoli anche in presenza di strutture leggere caratterizzate da bassi valori di sfasamento come è, nel caso preso in esame, la copertura su struttura lignea.**
- **L'utilizzo di strutture massive, come sono le pareti in muratura piena o semipiena, se non correttamente isolate, oltre a determinare rilevanti consumi energetici invernali, può non essere sufficiente ad assicurare i livelli attesi di comfort estivo.**
- L'impiego di software di simulazione dinamica ha dimostrato la validità predittiva delle stime progettuali che forniscono valutazioni coerenti con le misure registrate.

Caso studio 2

Aula edificio scolastico Chiari (BS)

La campagna di misure si è svolta tra il mese di giugno e quello di luglio, ad edificio non occupato, ed ha analizzato un'aula di scuola elementare avente una superficie di circa 70 m².

La zona termica analizzata è delimitata da:

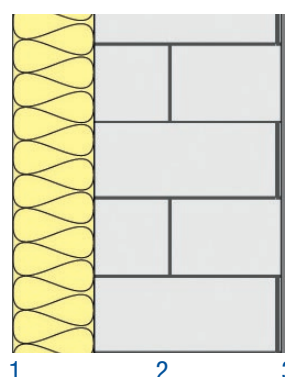
- facciata ventilata (Nord) e parete opaca con rivestimento a cappotto (Ovest), isolata con pannello Stiferite Class SK di spessore 13 cm
- copertura con struttura prefabbricata (della tipologia a tegolo pigreco), isolata con pannello STIFERITE Class B di spessore 16 cm;
- serramenti a doppio vetro con 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.

La composizione e le prestazioni termiche delle pareti perimetrali e della copertura sono indicate negli schemi.



Pareti perimetrali *	
Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [U, W/m ² K]	0,14
Trasmittanza Periodica [Y _{ie} , W/m ² K]	0,01
Attenuazione	0,07
Sfasamento	15h30'
Ammettenza interna [W/m ² K]	3,0
Capacità termica periodica interna [kJ/m ² K]	41,1
Capacità termica periodica esterna [kJ/m ² K]	3,8
Ammettenza esterna [W/m ² K]	0,3

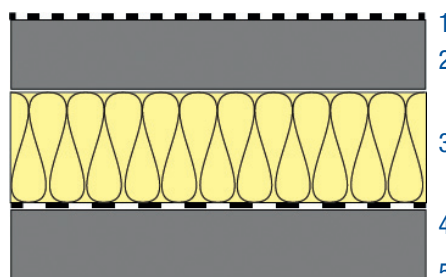
*non valutati i modesti contributi di intonaci esterni per la parete a cappotto e degli elementi di finitura per la facciata ventilata.



STRATIGRAFIA

- 1) STIFERITE Class SK 13 cm
- 2) Blocchi pieni di calcestruzzo cellulare da 30 cm
- 3) Intonaco interno

Copertura	
Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [U, W/m ² K]	0,13
Trasmittanza Periodica [Y _{ie} , W/m ² K]	0,05
Attenuazione	0,24
Sfasamento	10h32'
Ammettenza interna [W/m ² K]	7,6
Capacità termica periodica interna [kJ/m ² K]	105,2
Capacità termica periodica esterna [kJ/m ² K]	45,5
Ammettenza esterna [W/m ² K]	3,3



STRATIGRAFIA

- 1) Membrana impermeabile
- 2) Massetto in cls alleggerito
- 3) STIFERITE Class B 16 cm
- 4) Schermo al vapore
- 5) Cls di riempimento, 10 cm

Le misure sono state effettuate a edificio vuoto, privo quindi dei carichi interni determinati dagli scolari, in assenza di ricambi d'aria e di sistemi oscuranti alle vetrate.

Le temperature misurate superano i 30° C e raggiungono livelli di discomfort pari al 91% (v. grafico 5) evidenziando come il prolungarsi dell'irraggiamento attraverso le superfici vetrate, in assenza di ventilazione e ricambi d'aria, determini il surriscaldamento dell'ambiente.

Valutazioni analoghe (91% di discomfort) sono state ottenute anche utilizzando il software di simulazione dinamica ICARO (v. grafico 6).

La buona corrispondenza delle stime predittive ha motivato un approfondimento di indagine allo scopo di valutare le temperature operanti durante il mese di maggio, con l'ambiente occupato da venti persone con un'attività metabolica leggera che determina un apporto di carichi interni di circa 1,5 kW.

Nonostante le temperature esterne siano più basse, l'aumento dei carichi interni, in assenza di ventilazione e di utilizzo delle schermature, determina comunque condizioni insoddisfacenti.

Un contesto che risulta modificabile con la gestione dei ricambi d'aria, pari circa a 1 volume orario, e un controllo delle schermature. Grazie ad un più attento utilizzo dell'ambiente si raggiunge un livello di comfort interno pari al 97% (v. grafico 7).

Grafico 5. Misure orarie di temperatura dell'aria interna riportate in relazione al comfort adattivo

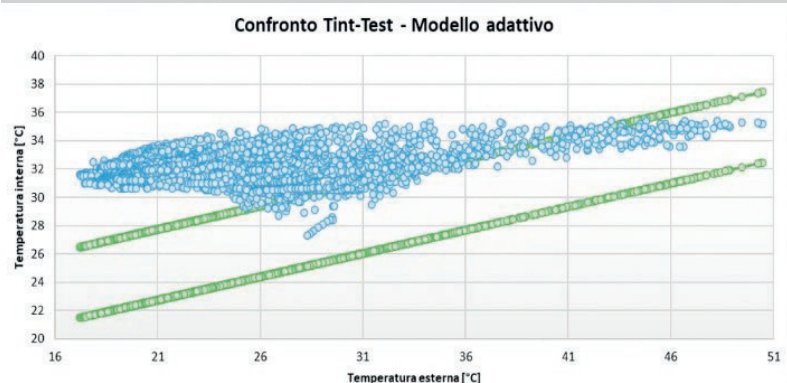


Grafico 6. Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo

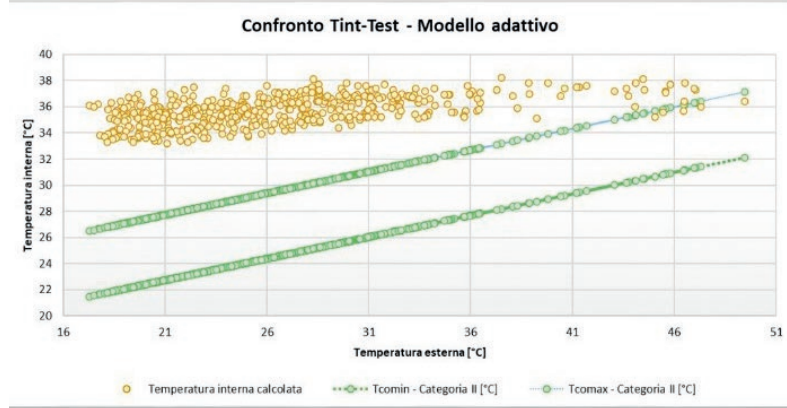
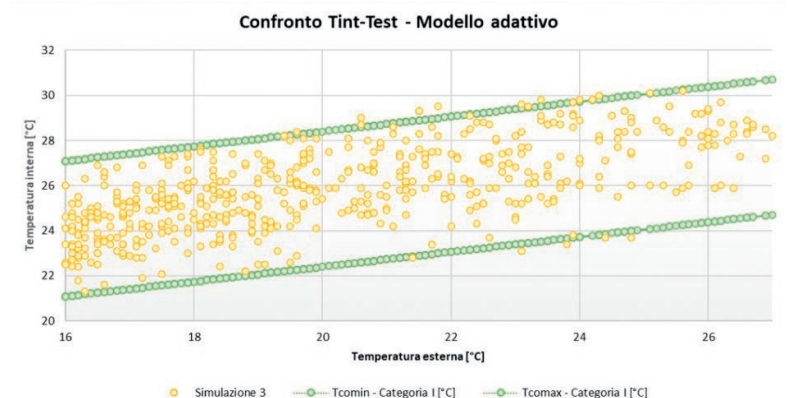


Grafico 7. Temperatura operante oraria calcolata in relazione al comfort adattivo con alunni, con gestione dell'aria e delle schermature



Caso studio 2**Aula edificio scolastico Chiari (BS)****Alcune considerazioni:**

- La presenza di ampie superfici vetrate non opportunamente schermate determina un importante flusso di energia entrante per irraggiamento solare.
- La mancanza di ventilazione impedisce alle strutture ed agli oggetti surriscaldati di cedere la temperatura verso l'esterno
- Le strutture opache, pur correttamente isolate, con valori di Y_{ie} di 0,01 W/m²K per le pareti e di 0,05 W/m²K per la copertura, dotate di massa e di elevati valori di sfasamento (più di 15 ore per le pareti e più di 10 ore per la copertura), inevitabilmente non sono in grado di contrastare l'aumento della temperatura determinato dal prolungato irraggiamento e dalla mancanza di ricambi d'aria.
- **L'esempio evidenzia come una corretta progettazione del comfort estivo debba considerare, oltre alle caratteristiche e prestazioni delle strutture opache, l'orientamento, l'ampiezza delle superfici vetrate, la possibilità di ombreggiamento, la gestione dei ricambi d'aria e l'apporto dei carichi interni.**
- Anche questa campagna di misure consente di valutare positivamente l'attendibilità dei valori predittivi forniti dai software di simulazione dinamica.

Caso studio 3 Ufficio - Galbiate

Nel terzo caso studio è stato valutato un ambiente collocato a livello mansarda ed adibito ad ufficio.

In questo caso l'ambiente è dotato di un impianto di raffrescamento che nelle 10 ore di attività previste, dalle 8 alle 18, gestisce la temperatura e il tasso di umidità.

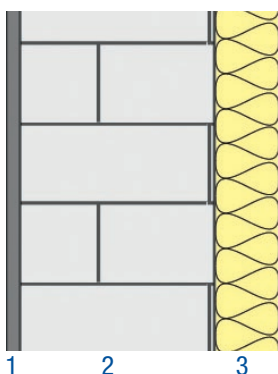
I carichi interni sono costituiti dalle 3 persone stabilmente presenti negli orari di apertura dell'ufficio, che svolgono attività sedentarie, e dalla apparecchiature necessarie all'attività (computer, stampanti, fotocopiatrici).

L'ambiente preso in esame è delimitato da:

- pareti verticali in blocchi cementizi con isolamento termico interno realizzato con pannelli STIFERITE RP (v. schema)
- copertura in legno isolata
- serramenti trasparenti posizionati sia a parete, sia in copertura.



Parete perimetrale	
Caratteristiche termiche	Valore
Trasmittanza [U, W/m ² K]	0,10
Trasmittanza Periodica [Y _{le} , W/m ² K]	0,00
Attenuazione	0,00
Sfasamento	11h4'
Ammettenza interna [W/m ² K]	0,3
Capacità termica periodica interna [kJ/m ² K]	3,5
Capacità termica periodica esterna [kJ/m ² K]	39,2
Ammettenza esterna [W/m ² K]	2,9



STRATIGRAFIA

- 1) Rasatura esterna
- 2) Blocchi di calcestruzzo cellulare spessore 30 cm
- 3) STIFERITE RP composto da pannello in poliuretano di spessore 10 cm accoppiato a lastra in cartongesso di spessore 1,2 cm

I valori riportati nel grafico 8 attestano il raggiungimento di un livello di comfort molto elevato, pari al 96%, ottenuto grazie al corretto dimensionamento sia dell'impianto e sia delle prestazioni isolanti delle superfici opache.

Da segnalare inoltre che le poche situazioni di moderato discomfort si collocano con maggiore frequenza nelle ore notturne (v. grafico 9), quando l'ufficio non è operativo, le apparecchiature per il condizionamento sono spente le temperature degli ambienti non pregiudicano quindi il benessere degli occupanti

Grafico 8. Misure orarie di temperatura dell'aria interna riportate in relazione al comfort adattivo

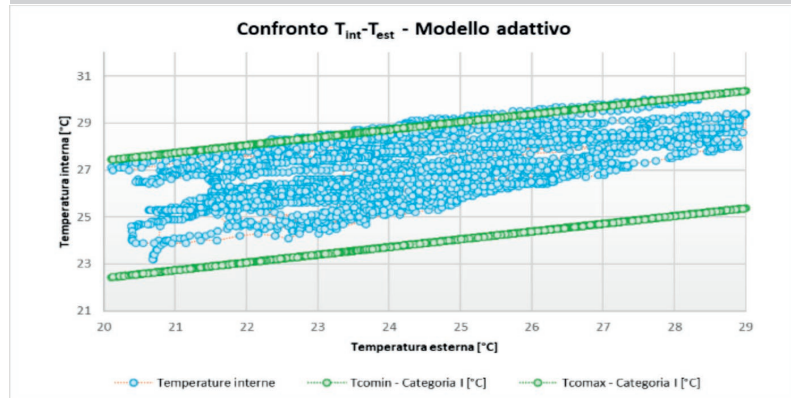
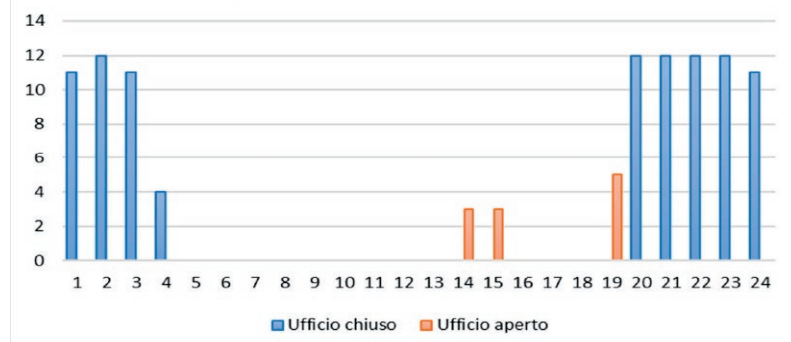


Grafico 9. Frequenza delle ore di discomfort



Caso studio 3

Ufficio dotato di impianto di climatizzazione - Galbiate

Alcune considerazioni:

- La corretta coibentazione delle superfici opache contribuisce a rendere più efficace il funzionamento dell'impianto e al mantenimento delle condizioni termogrometriche impostate.
- In ambienti che prevedono riscaldamento e raffrescamenti discontinui, come sono gli uffici, il posizionamento dello strato isolante all'interno permette un più rapido raggiungimento delle temperature operanti impostate e contribuisce a limitare i consumi energetici.

Progetto di ricerca dell' Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Mecánica COMFORT E RISPARMIO ENERGETICO IN CLIMA TROPICALE

Tra il 2019 e il 2020 STIFERITE ha collaborato alla realizzazione di un progetto di ricerca gestito dalla Facoltà di Ingegneria Meccanica dell'Università Tecnologica di Panama.

Lo scopo dello studio è la valutazione del contributo che un corretto isolamento termico, realizzato con pannelli STIFERITE, può offrire in termini sia di miglioramento del comfort degli ambienti e sia di riduzione dei consumi energetici determinati dal condizionamento.

L'attività sperimentale è stata svolta nell'ambito della tesi di laurea di Orlando Aguilar P. e José Mendoza "Evaluación del desempeño de material aislante en paredes y techo para viviendas en Panamá" sotto la guida di Félix Henríquez, Direttore di CINEMI - Centro di Ricerca e Innovazione Elettrica, Meccanica e Industriale dell'Università Tecnologica di Panama e di Orlando Aguilar, Direttore per la Ricerca della stessa Università.

La sintesi del lavoro che proponiamo è in gran parte tratta dallo studio presentato al diciottesimo meeting LACCEI (The Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions) e disponibile on line col titolo "Impact on energy saving and thermal comfort sensation through the application of expanded polyurethane thermal insulation in Panama" (<http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP231.html>).

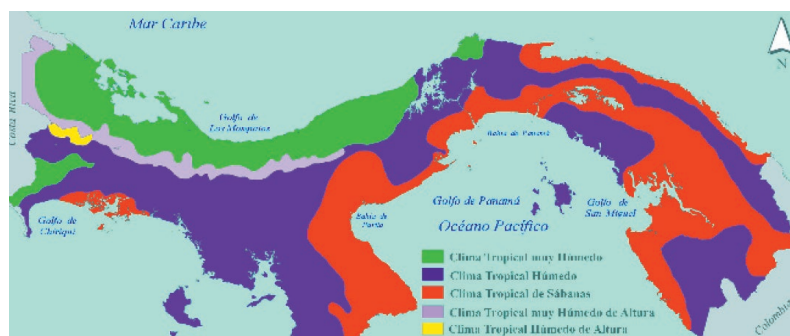
Il contesto climatico e energetico

Panama è un paese dal clima tropicale, caratterizzato da giornate calde, per l'anno 2019 la media delle temperature massime è stata di 36,5°C con un tasso medio di umidità relativa pari al 75,7%, valori di picco che hanno toccato i 38°C e l' 89,9% di umidità.

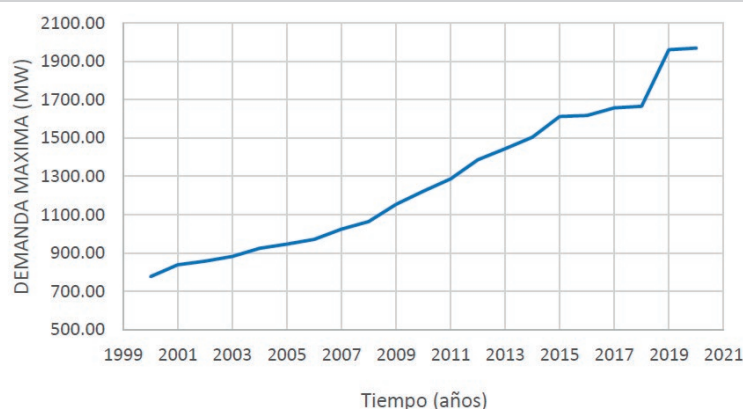
Condizioni climatiche poco confortevoli che impongono un ampio utilizzo dei sistemi di climatizzazione, sia negli ambienti di lavoro e sia nelle abitazioni, e conseguenti elevati consumi elettrici che registrano una costante crescita ed un preoccupante aumento della pendenza della curva a partire dal 2018.

Nonostante a Panama sia in vigore, dal 2016, una normativa sulla sostenibilità degli edifici questa non prevede l'obbligo di isolare termicamente gli edifici.

Il tema dell'uso più efficiente delle risorse energetiche è diventato oggi di grande interesse ed è in questo contesto che lo studio si propone di valutare l'impatto positivo che un'adeguata coibentazione avrebbe sul comfort dei cittadini e sulla loro bolletta energetica.



Panama - Andamento dei consumi di energia elettrica



La sperimentazione

La sperimentazione è stata condotta all'interno dell'area di pertinenza dell'Università realizzando due ambienti-campione (v. pianta e prospetti) con caratteristiche strutturali simili che si differenziano solo per l'assenza - PP1 - o la presenza - PP2 - di uno strato isolante.

I campioni sono stati costruiti con i materiali tipici utilizzati per l'edilizia a Panama: blocchi in cemento per le pareti e lastre di lamiera zincata per la copertura inclinata (v. Gaceta Oficial di Panama Capitolo 6 che individua le prassi costruttive più comuni). In entrambi i campioni è stato installato un sistema di climatizzazione con split da 9000 BTU programmabile. Le superfici opache del campione PP2 sono state coibentate con pannelli isolanti STIFERITE in poliuretano espanso rigido.

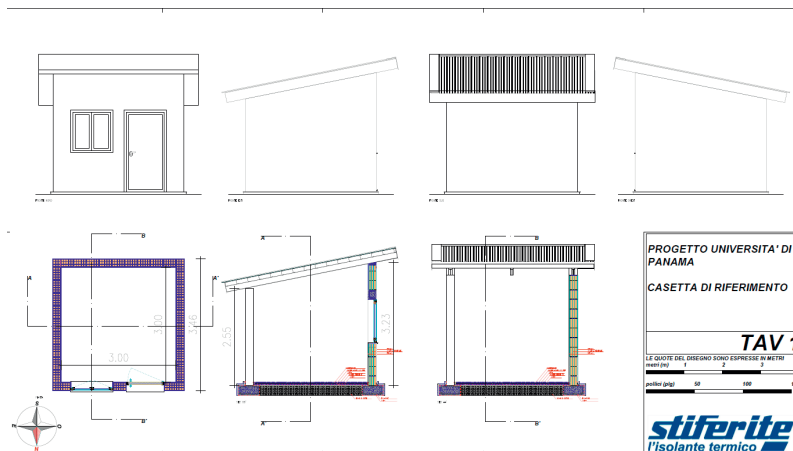
Per l'isolamento delle pareti è stato applicato all'esterno il pannello STIFERITE GT di spessore 80 mm, il pannello si caratterizza per una conducibilità termica dichiarata (λ_D) di 0,022 W/mK che, per lo spessore impiegato, offre una trasmittanza termica (U_D) di 0,28 W/m²K ed una resistenza termica (R_D) di 3.64 m²K/W.

Le stesse prestazioni termiche sono garantite anche dai pannelli STIFERITE RP - pannelli in poliuretano accoppiati ad una lastra in cartongesso da 12 mm - utilizzati per isolare, dall'interno, la copertura.

La rilevazione delle misure delle temperature e dei consumi è stata effettuata mediante termocoppie e dispositivi che forniscono letture di tensione, amperaggio, potenza, consumo accumulato in kWh e fattore di potenza.

Le due sperimentazioni principali sono state finalizzate a valutare:

- le temperature interne dei campioni, ad impianto spento, e il loro confronto con la temperatura di comfort ambientale stabilita per Panama
- le differenze dei consumi energetici ad impianto di condizionamento funzionante.



Nelle immagini, dall'alto:

- Pianta, prospetti e sezioni del campione di riferimento PP1
- I due campioni realizzati: senza isolamento, PP1, e con isolamento in pannelli STIFERITE, PP2
- Fasi di posa dell'isolante a parete e a soffitto isolate con sistema STIFERITE brevettato (Patent 102018000010419)

Temperature interne con impianto di condizionamento spento

Il primo test ha previsto la misura delle temperature interne dei campioni per 24 ore, ad impianto spento, ed è stato ripetuto per quattro giorni.

Sono state registrate anche le temperature esterne, e per quelle interne, si è valutato il tempo di permanenza di ciascun campione all'interno dell'intervallo di temperature confortevoli definito dalla normativa in vigore a Panama che va da un minimo di 23,5° C ad un massimo di 28,5° C.

Il grafico 1, relativo ad una delle 4 ripetizioni del test, mostra l'andamento delle temperature interne e consente di valutarle in rapporto sia a quelle esterne e sia ai limiti stabiliti per il comfort termico degli ambienti. Da una prima analisi delle curve si potrebbe evincere che il campione PP1, non isolato, pur superando di oltre 2° C il limite massimo della comfort zone sembra mantenersi all'interno dell'area di comfort per un periodo leggermente più lungo.

Questa prima considerazione ha motivato un'approfondimento dell'indagine allo scopo di valutare sia la variabile della temperatura e sia quella del tempo.

È stata quindi eseguita un'analisi dell'area definita dalla parte di ciascuna linea che supera il limite superiore della zona di comfort. Il calcolo delle aree è stato risolto integrando un'equazione polinomiale di 6° grado per ciascuna curva.

La grandezza risultante è un numero che correla direttamente sia il tempo e sia la temperatura che si colloca al di sopra e al di sotto del limite superiore della zona di comfort.

La tabella 1 mostra i risultati di questa analisi ed evidenzia, per il campione isolato, la significativa riduzione delle condizioni di discomfort.

Grafico 1. Andamento delle temperature interne dei due campioni rispetto a quelle esterne ed all'area della zona di comfort (test effettuato il 7 ottobre 2019)

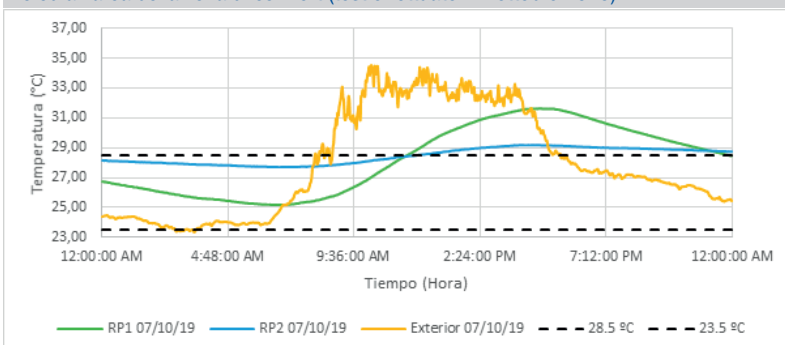


Tabella 1. Correlazione tra le temperature raggiunte al di fuori dell'area di comfort e la durata delle condizioni di discomfort

		Inferior Limit	Superior Limit	Evaluated Integral	Reduction %
4/10/2019	PP1	0.439	0.874	0.735	95.51%
	PP2	0.514	0.782	0.033	
		Inferior Limit	Superior Limit	Evaluated Integral	Reduction %
5/10/2019	PP1	0.476	0.919	0.713	80.64%
	PP2	0.482	0.994	0.138	
		Inferior Limit	Superior Limit	Evaluated Integral	Reduction %
6/10/2019	PP1	0.59	0.751	0.020	NULL
	PP2	0.536	0.77	0.080	
		Inferior Limit	Superior Limit	Evaluated Integral	Reduction %
7/10/2019	PP1	0.484	0.997	0.904	75.33%
	PP2	0.496	0.999	0.223	

L'unico valore anomalo, relativo al test effettuato il 6 ottobre, trova la sua motivazione nelle particolari condizioni meteorologiche. La giornata era infatti particolarmente fresca, nuvolosa e si sono verificate frequenti precipitazioni.

Il campione non isolato ha risentito prontamente delle condizioni esterne che hanno determinato il mantenimento di basse temperature interne.

Il campione isolato ha dimostrato di essere meno condizionato dalle variazioni della temperatura esterna ed ha quindi mantenuto temperature interne più elevate.

Gli autori invitano a valutare positivamente questo aspetto considerando le potenzialità di risparmio energetico per il riscaldamento nelle città e zone del Paese caratterizzate da basse temperature.

Riduzione dei consumi elettrici per il condizionamento

Durante la sperimentazione sono state ripetute diverse analisi dei consumi energetici determinati dall'impianto di condizionamento.

Nella più significativa gli impianti dei due locali campione sono stati accesi per una durata complessiva di sette giorni durante i quali il consumo energetico è stato misurato mediante l'apparecchiatura CRS-022B. Al termine dei sette giorni è stato effettuato un confronto che ha evidenziato per il campione isolato una percentuale di riduzione dei consumi del 44% rispetto a quelli del campione privo di isolamento (v. Tabella 2).

Tabella 2. Consumi elettrici per il condizionamento

	Electricity Consumption (kWh)	Cost of Electricity (Dollars)	Reduction %
PP1	43	7.50	44.18%
PP2	24	4.19	

Valutazione delle ricadute economiche

Gli autori hanno voluto sottolineare anche il valore economico della riduzione dei consumi: nel periodo a cui si riferiscono le misure il costo dell'energia elettrica per le abitazioni nella fascia di medio consumo (301-750 kWh) era di 0,21686 \$/kWh.

Considerando abitazioni con un consumo medio mensile di 550 kWh, dei quali circa il 45% imputabile agli impianti di condizionamento, un efficace isolamento termico potrebbe sia tradursi in un risparmio annuo rilevante e sia contribuire ad evitare gli sprechi energetici di un Paese che si sta dimostrando sempre più attento ai temi della sostenibilità ambientale.

Le valutazioni economiche sono ovviamente approssimative sia per gli

aspetti quantitativi (che dipendono dall'efficienza degli impianti, dal clima, dalle caratteristiche degli edifici e dai carichi termici interni) e sia per quelli economici dato che nel Paese i costi per l'energia elettrica variano ad ogni semestre.

Con questa precisazione lo studio si conclude con l'invito a promuovere l'impiego delle soluzioni isolanti proposte da STIFERITE appurata la loro efficacia per il miglioramento delle condizioni di comfort degli ambienti privi di sistemi di raffrescamento e per la riduzione dei consumi elettrici determinati dagli impianti di condizionamento.

COMFORT E RISPARMIO ENERGETICO IN CLIMA TROPICALE

Alcune considerazioni:

- Lo studio è stato svolto a Panama, in un contesto climatico di tipo tropicale dove l'utilizzo degli impianti è destinato principalmente al raffrescamento degli ambienti. I risultati sperimentali hanno evidenziato come anche in climi caldi un corretto isolamento termico permette di ottenere importanti risultati sia in termini di comfort ambientale in assenza di impianti e sia in termini di riduzione dei consumi elettrici in presenza degli impianti.

I pannelli STIFERITE utilizzati per le valutazioni e le sperimentazioni

Descrizione e Prestazioni isolanti

<p>GT</p> 	<p>Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con lo speciale rivestimento Gas Tight triplo strato.</p> <p>Conducibilità Termica Dichiarata: λ_D 0,022 W/mK</p>
<p>Class SK</p> 	<p>Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con velo vetro saturato. Specifico per applicazioni a cappotto</p> <p>Conducibilità Termica Dichiarata: λ_D 0,027 W/mK spessori da 20 a 40 mm λ_D 0,026 W/mK spessori da 50 a 90 mm λ_D 0,025 W/mK spessori da 100 a 160 mm λ_D 0,024 W/mK spessori da 180 a 200 mm</p>
<p>Class B</p> 	<p>Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, con rivestimenti di velo vetro bitumato accoppiato PP, idoneo alla sfiammatura, e velo vetro minerale saturato.</p> <p>Conducibilità Termica Dichiarata: λ_D 0,027 W/mK spessori da 20 a 40 mm λ_D 0,026 W/mK spessori da 50 a 90 mm λ_D 0,025 W/mK spessori da 100 a 160 mm λ_D 0,024 W/mK spessori da 180 a 200 mm</p>
<p>RP</p> 	<p>Pannello isolante in schiuma polyiso accoppiato a lastre in cartongesso di spessore 13 mm a bordi assottigliati</p> <p>Schermo al vapore integrato sul lato caldo, fattore di resistenza al vapore $\mu > 89900$</p> <p>Rivestimento gas tight triplo strato adatto alla posa mediante incollaggio</p> <p>Conducibilità Termica Dichiarata della schiuma polyiso: λ_D 0,022 W/mK</p>

stiferite[®]
l'isolante termico

Stiferite SpA a socio unico
Viale della Navigazione Interna, 54/5 - 35129 Padova (I)
Tel. +39 049 8997911 - Fax +39 049 774727
www.stiferite.com

Numero Verde 800-840012



Certificazioni Aziendali
ISO 9001 - Sistema Qualità
ISO 45001 - Salute e sicurezza dei lavoratori
ISO 14001 - Sistema di gestione ambientale