



Prestazioni estive degli edifici

Materiali, stratigrafie e comfort

19 giugno 2023

Ing. Giorgio Galbusera

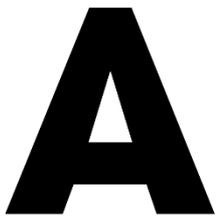
Diritti d'autore: la presentazione è proprietà intellettuale dell'autore e/o della società da esso rappresentata. Nessuna parte può essere riprodotta senza l'autorizzazione dell'autore.



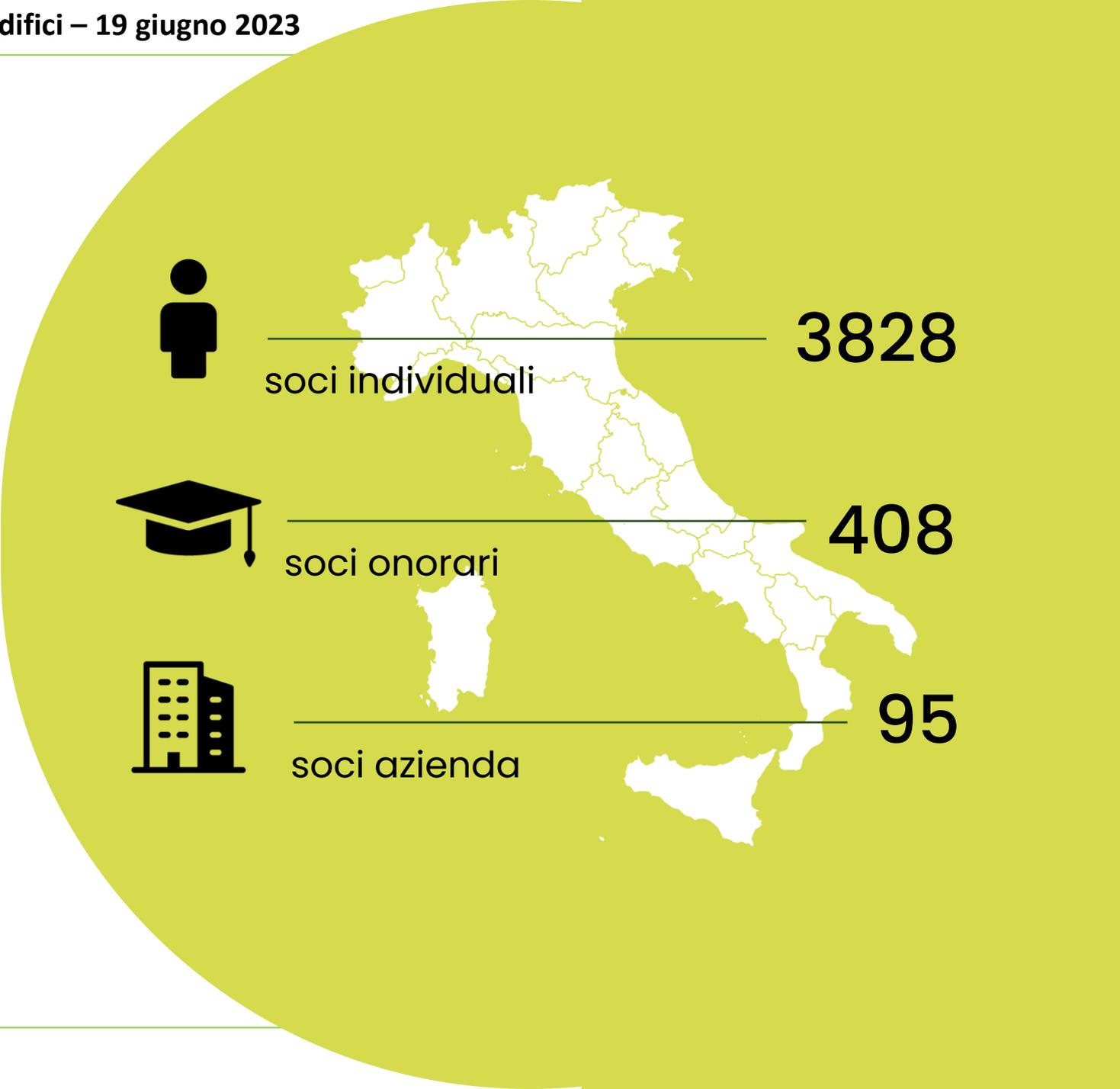
ASSOCIAZIONE NAZIONALE
PER L'ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO

Dal 1984 diffonde, promuove e sviluppa l'efficienza energetica e il comfort acustico come mezzi per salvaguardare l'ambiente e il benessere delle persone.

I Soci ANIT



ASSOCIAZIONE
NAZIONALE
PER L'ISOLAMENTO
TERMICO E ACUSTICO



I servizi per i soci individuali



soci individuali



1. Guide tecniche
2. Software
3. Chiarimenti dedicati



Abbonamento di 12 mesi: **120€+IVA**

PROGRAMMA DELL'INCONTRO

14.45 Attivazione collegamento

15.00 **Introduzione normativa**

Ing. Giorgio Galbusera – ANIT

- Le prestazioni estive dell'involucro opaco
- Requisiti minimi estivi e CAM
- Dai materiali alla stratigrafia: principi per la progettazione estiva
- Il concetto del comfort e l'analisi estiva di una zona termica

16.00 **Tecnologie per l'isolamento estivo**

Arch. Alessia Mora – Celenit

- I materiali isolanti: inerzia e isolamento
- Esempi di stratigrafie per il contenimento dei consumi invernali ed estivi
- Casi di applicazione e soluzioni tecnologiche

17.00 Risposte a domande online

17.15 Chiusura lavori



CREDITI FORMATIVI

INGEGNERI: 2 CFP accreditato dal CNI (evento n. 23p13392)

GEOMETRI: 2 CFP accreditato dal Collegio di Cremona

PERITI INDUSTRIALI: Non previsti

ARCHITETTI: Non previsti

I CFP sono riconosciuti solo per la presenza all'intero evento formativo.

MANUALE ANIT:

Scaricabile dalla sezione
PUBBLICAZIONI / MANUALI
del sito ANIT

Scritto in collaborazione con:

CELENIT
ISOLANTI NATURALI



Le prestazioni estive dell'involucro opaco

Analisi energetica stazionaria e dinamica

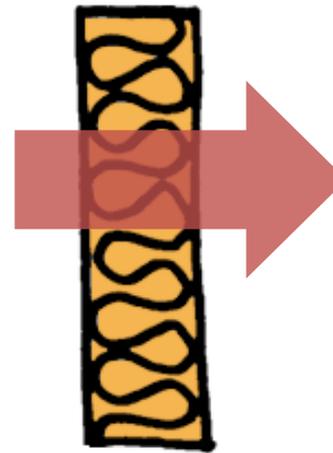
MATERIALI

- densità, ρ [kg/m³]
- spessore, s [m]
- calore specifico, c [J/kgK]
- conduttività, λ [W/mK]

↓
 λ_D

Test in laboratorio a condizioni fisse

20°C

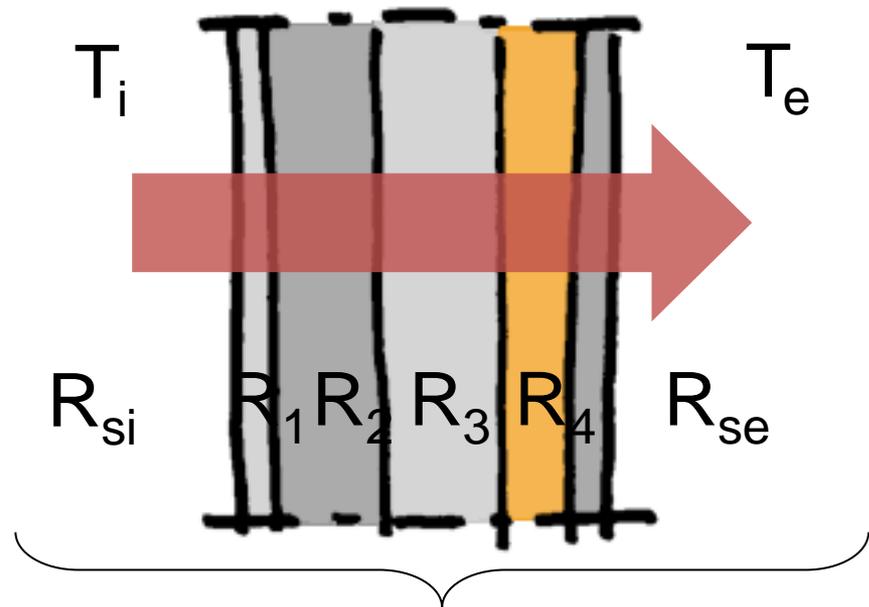


0°C

STRATIGRAFIA

- Trasmittanza termica, U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
- Resistenza termica, R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}}$$

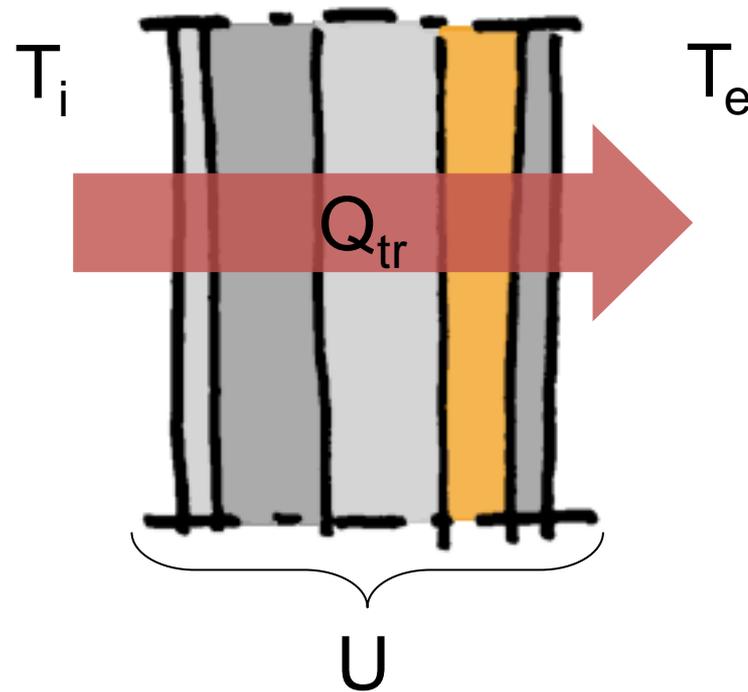


$$R_{\text{tot}} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_n + R_{se}$$

DISPERSIONI PER TRASMISSIONE

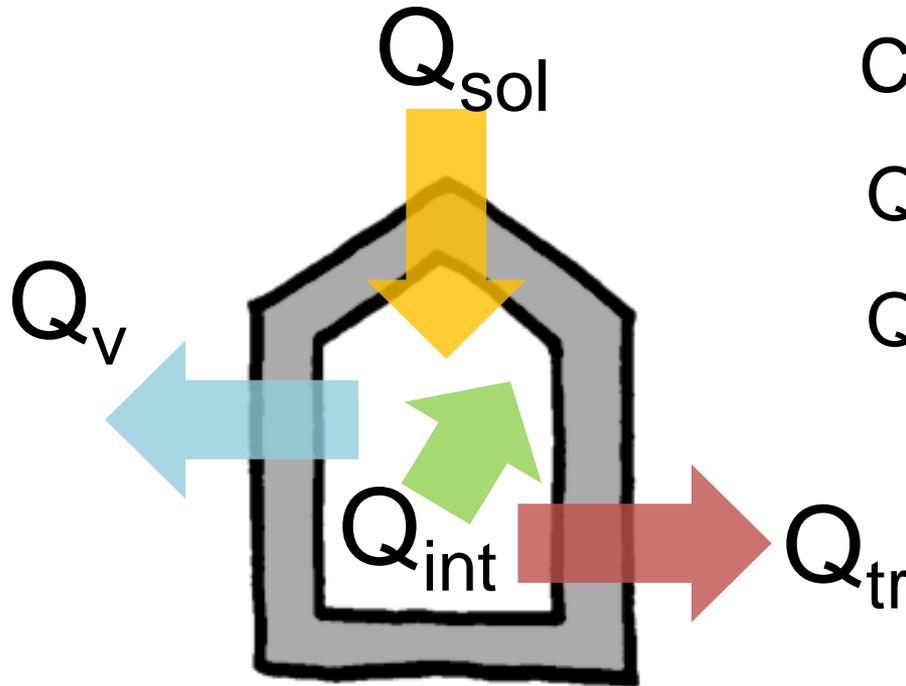
- Dispersioni per trasmissione Q_{tr} [kWh]

$$Q_{tr} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$$



BILANCIO DELLA ZONA TERMICA

- Fab. en. d'involucro per il servizio di riscaldamento $Q_{H,nd}$ [kWh]
- Fab. en. d'involucro per il servizio di raffrescamento $Q_{C,nd}$ [kWh]



Calcolo medio mensile:

$$Q_{H,nd} = (Q_{tr} + Q_v) - \eta(Q_{sol} + Q_{int})$$

$$Q_{C,nd} = (Q_{sol} + Q_{int}) - \eta(Q_{tr} + Q_v)$$

REQUISITI MINIMI

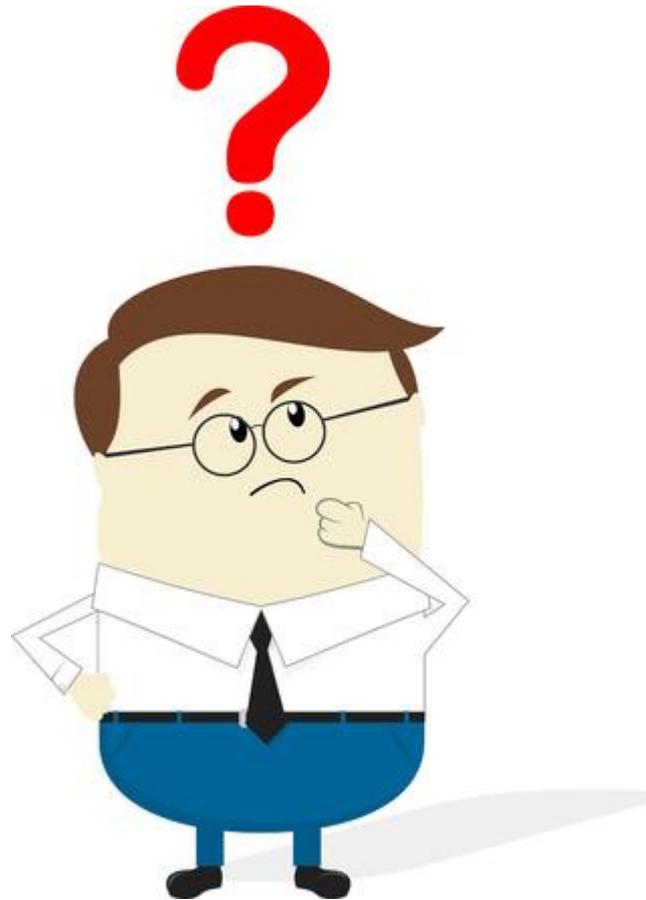
Impongono il controllo su:

- Trasmittanza termica media U_m [W/m²K]
- Coefficiente medio globale di scambio termico H'_T [W/m²K]
- Indici energetici $EP_{H,nd}$ ed $EP_{C,nd}$ [KWh/m²]



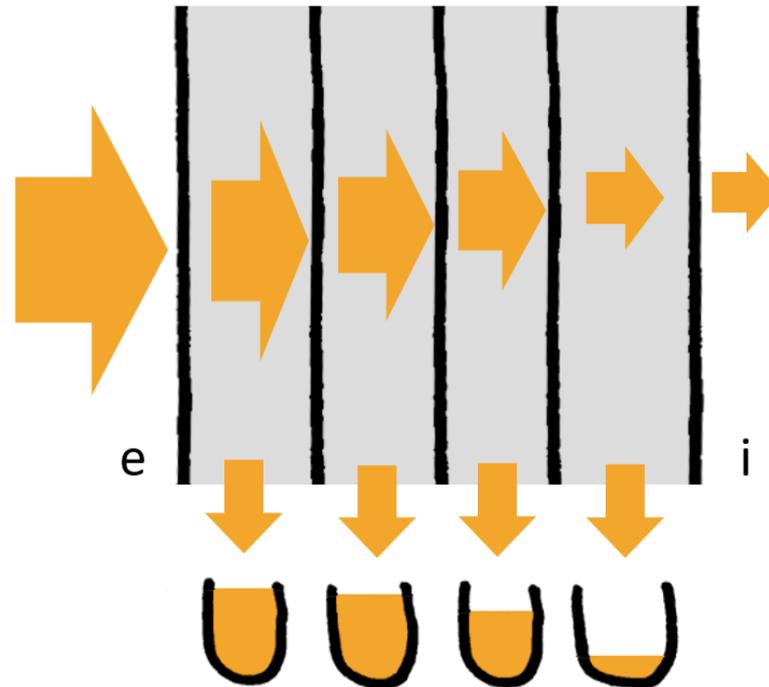
REQUISITI MINIMI (ESTIVI)

Gli indicatori invernali valgono anche come indicatori estivi?



COSA CAMBIA CON L'ANALISI DINAMICA? MATERIALI

L'effetto dell'inerzia:



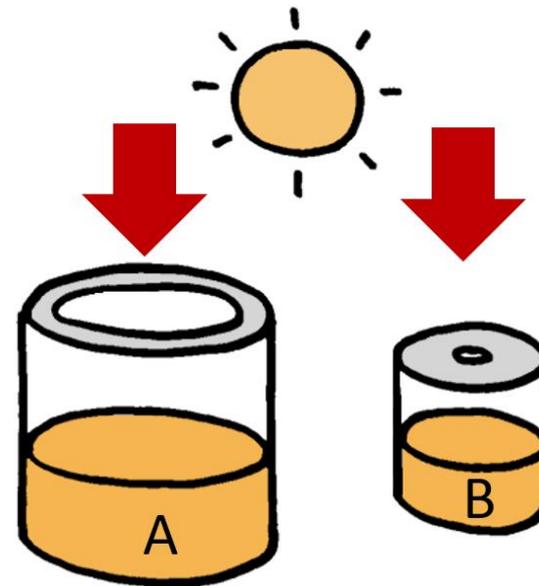
COSA CAMBIA CON L'ANALISI DINAMICA? MATERIALI

- la diffusività termica α [m^2/s],
- la capacità termica C volumica [$\text{kJ}/\text{m}^3\text{K}$] o areica [$\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$];

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

$$C = \rho \cdot c$$

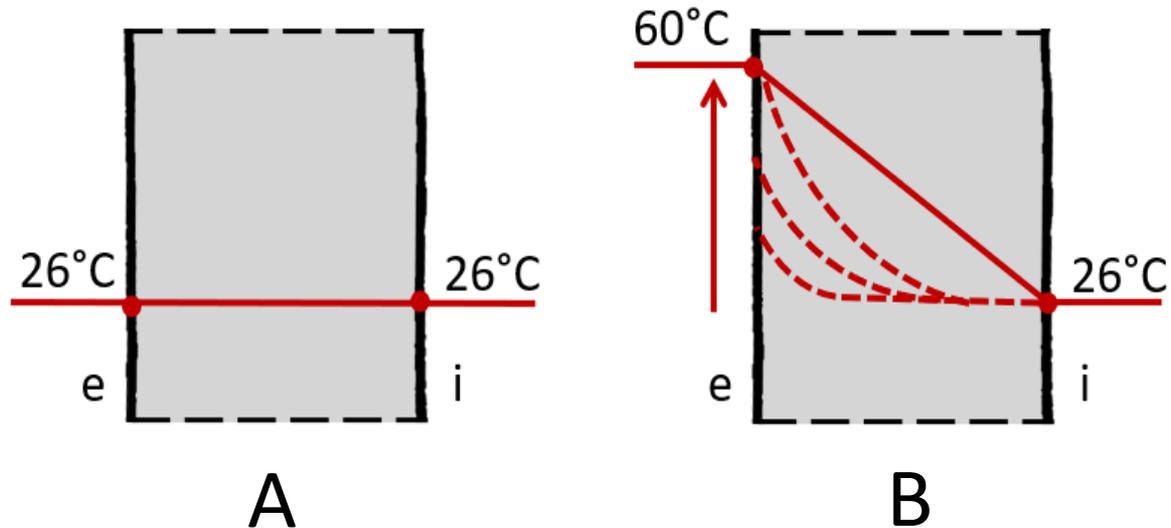
$$C = \rho \cdot c \cdot s$$



Materiali isolanti con un buon comportamento estivo hanno una diffusività termica $\alpha < 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

COSA CAMBIA CON L'ANALISI DINAMICA? STRATIGRAFIA

Immaginiamo di passare rapidamente dalla condizione A alla condizione B:



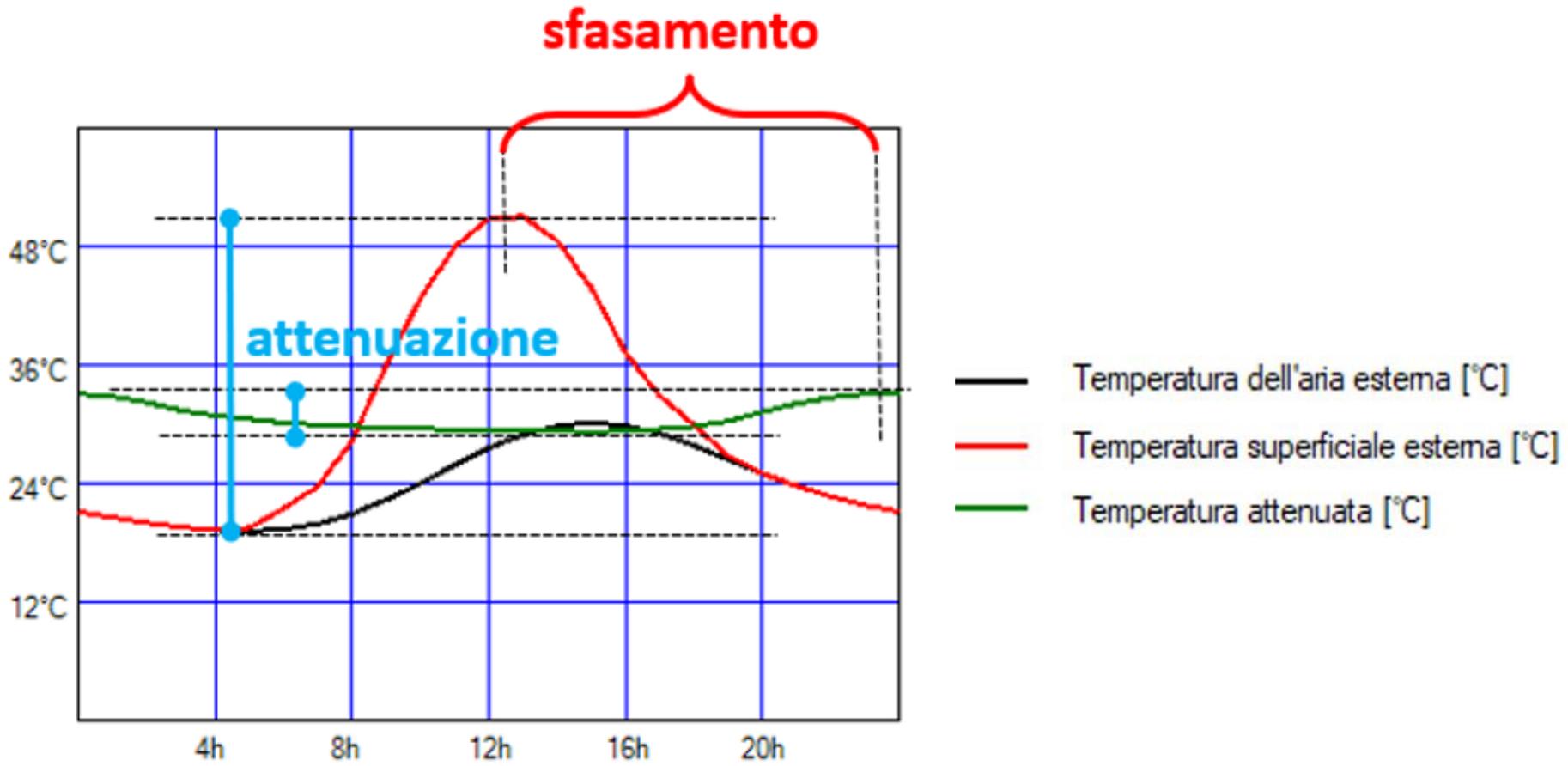
COSA CAMBIA CON L'ANALISI DINAMICA? STRATIGRAFIA

È interessante analizzare le modalità di reazione di una stratigrafia ora per ora rispetto a una sollecitazione esterna variabile (non costante).

I parametri studiati dalla norma UNI EN ISO 13786 sono:

- trasmittanza termica periodica (Y_{ie})
- sfasamento (φ) e attenuazione (f_a)
- capacità termica areica periodica (interna ed esterna) (C_{ip})
- ammettenza (interna ed esterna) (Y_{ii} e Y_{ee})
- profondità di penetrazione periodica (δ)

COSA CAMBIA CON L'ANALISI DINAMICA? STRATIGRAFIA



REQUISITI MINIMI (ESTIVI)

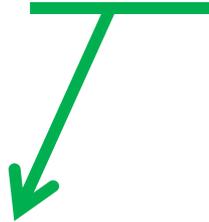
Impongono il controllo su:

- Trasm. termica periodica Y_{ie} [W/m²K] o massa sup. M_s [kg/m²]
- Fattore solare dei vetri g_{gl+sh} [-]
- Caratteristiche della copertura
- Area solare equivalente estiva A_{sol} [-]

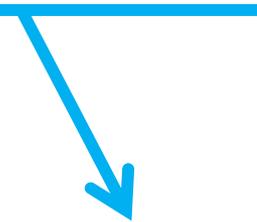


COSA CAMBIA CON L'ANALISI DINAMICA? BILANCIO DELLA ZONA TERMICA

Calcolo orario in regime dinamico



Passo di calcolo ridotto

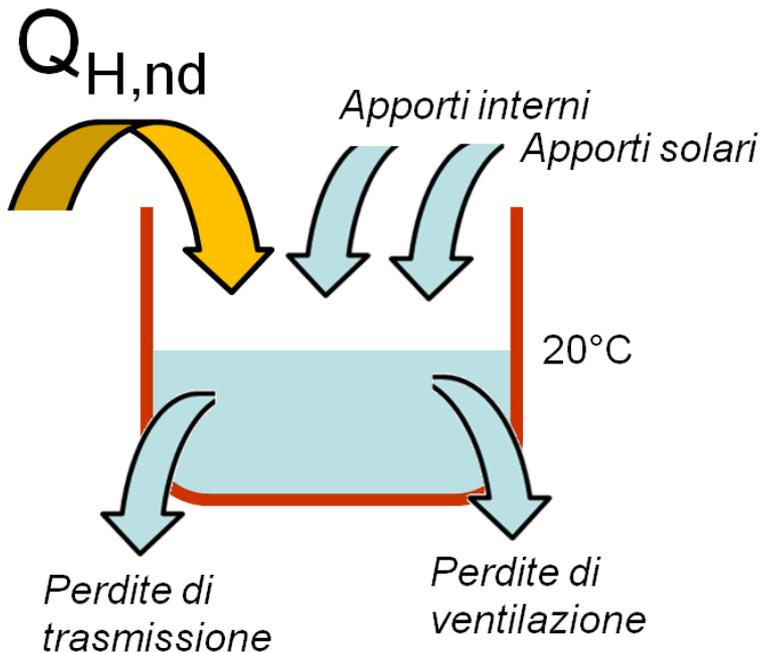


Si analizza l'effetto
dei fenomeni nel
tempo

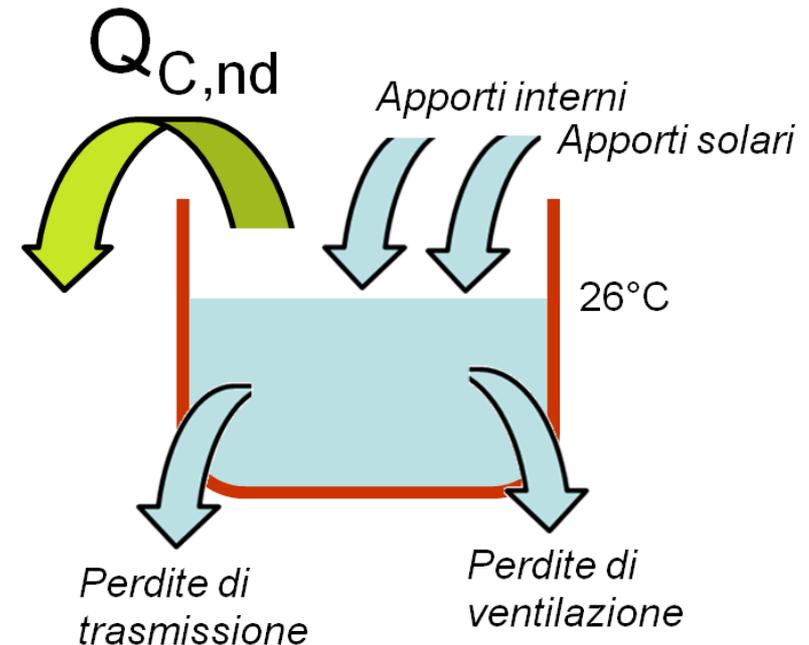
CALCOLO MENSILE SEMI-STAZIONARIO

Il bilancio energetico in accordo con le UNI/TS 11300

Servizio di riscaldamento



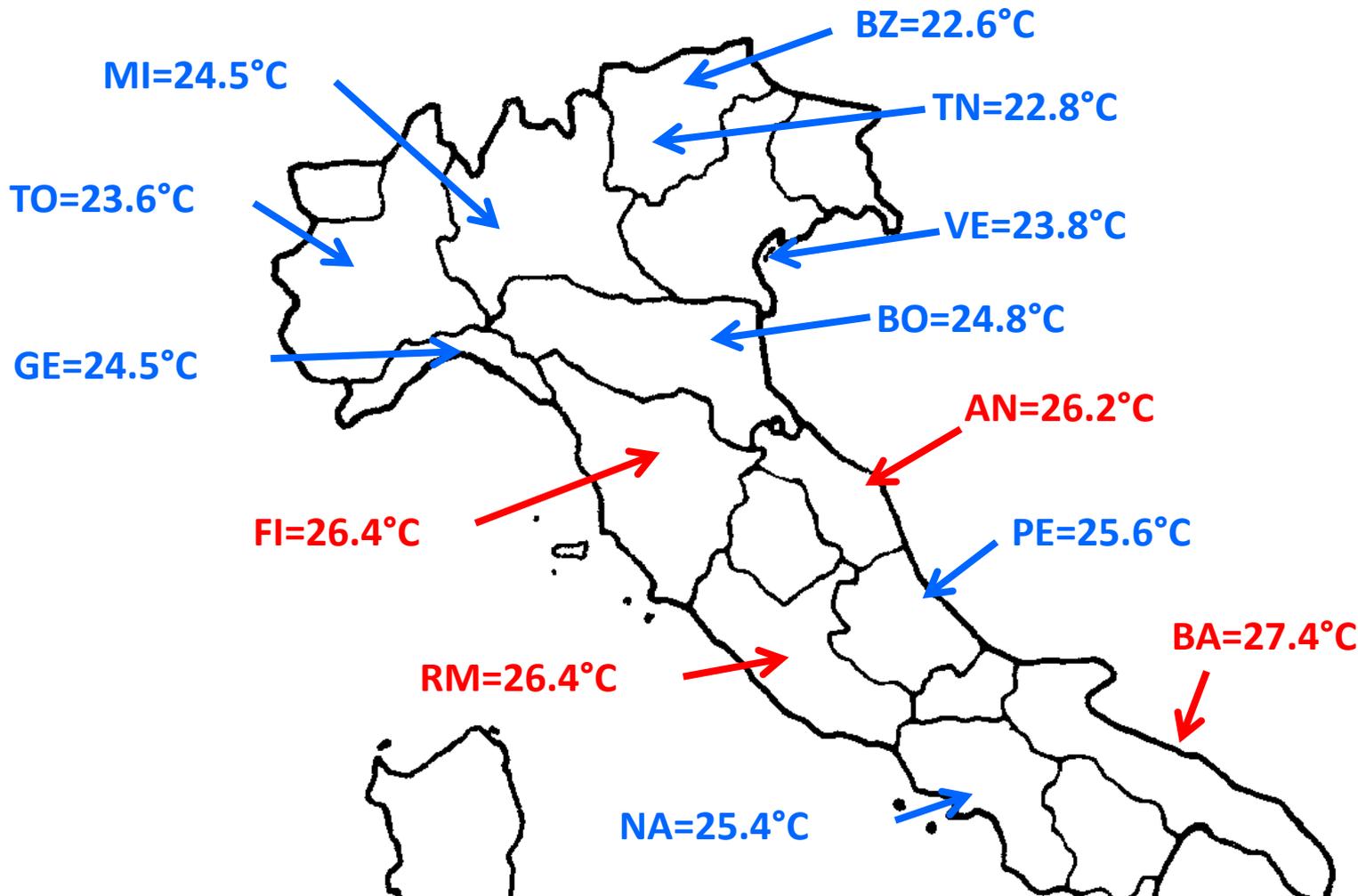
Servizio di raffrescamento



DATI CLIMATICI MEDI MENSILI

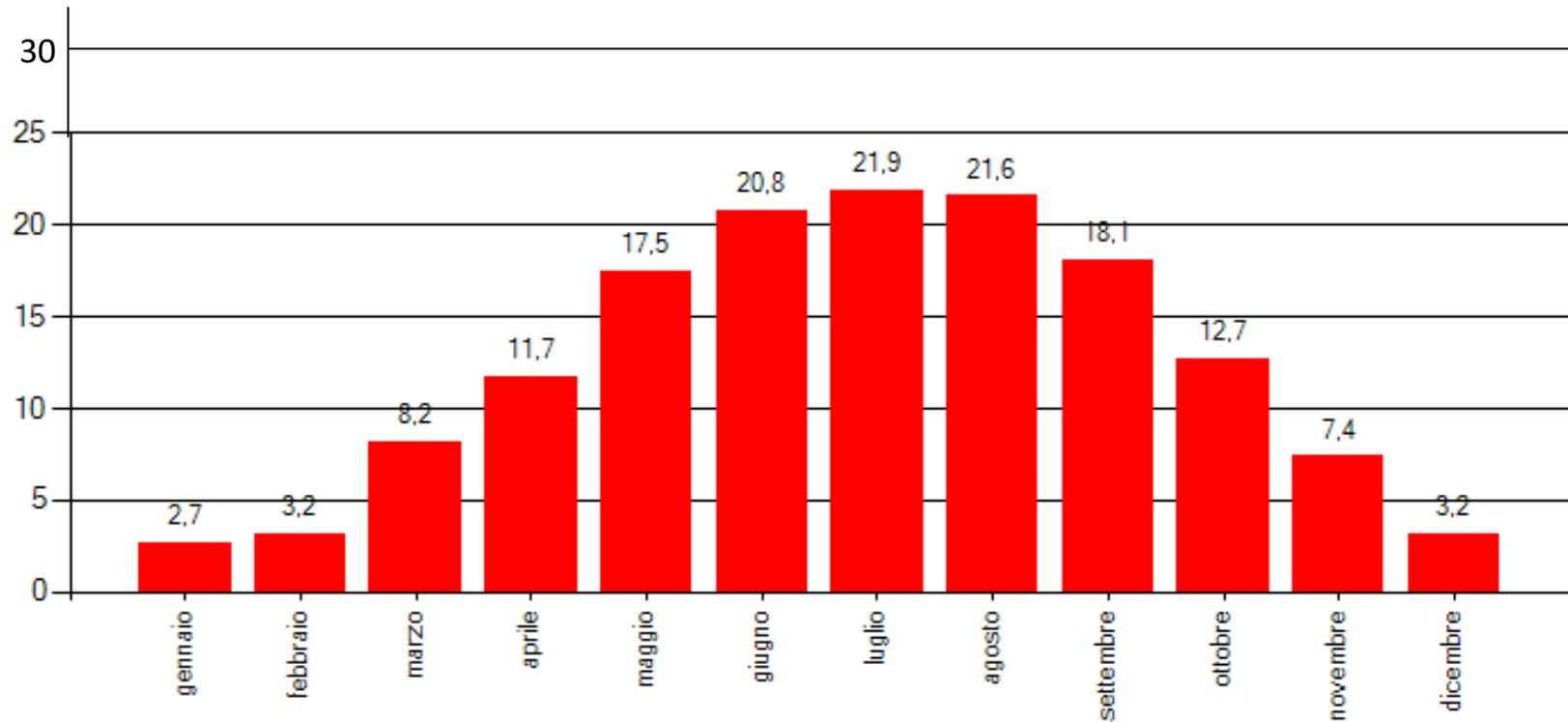
UNI 10349:2016, norma italiana sui dati climatici

Temperatura esterna a luglio:



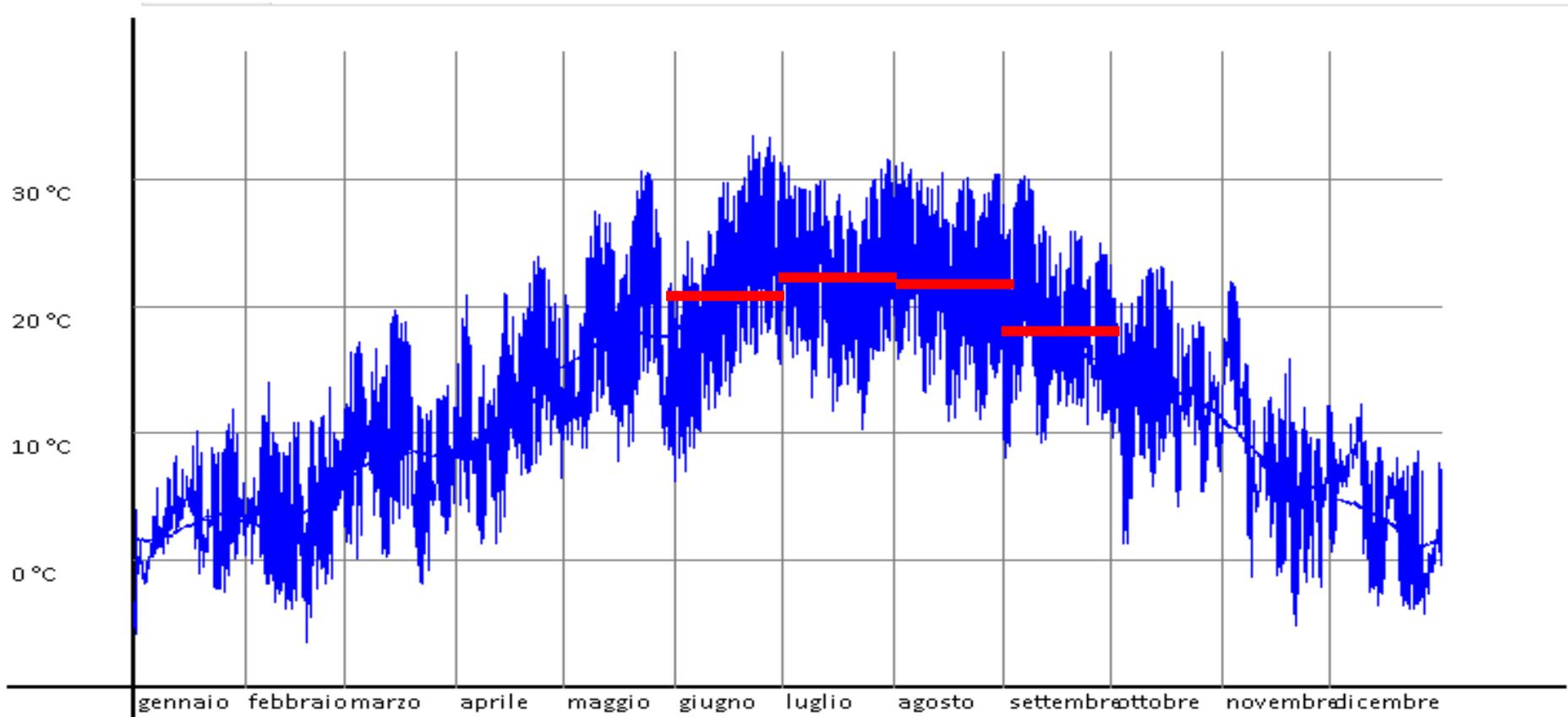
ESEMPIO: DATI CLIMATICI DI BRESCIA (UNI 10349/2016)

Valori medi mensili



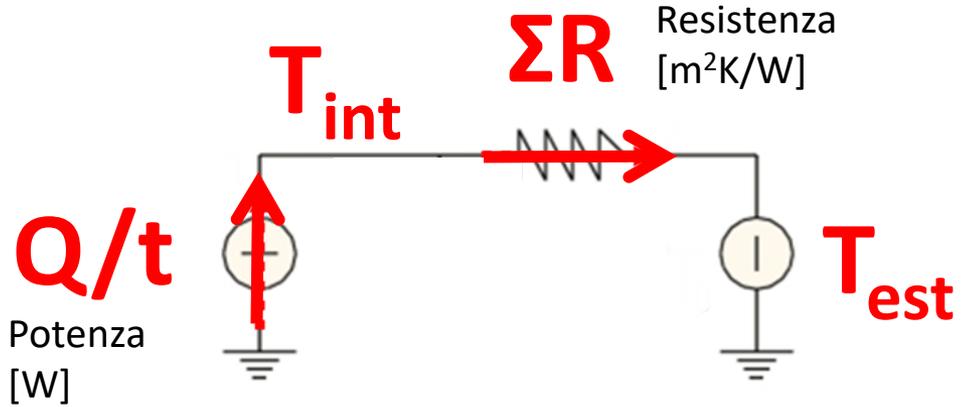
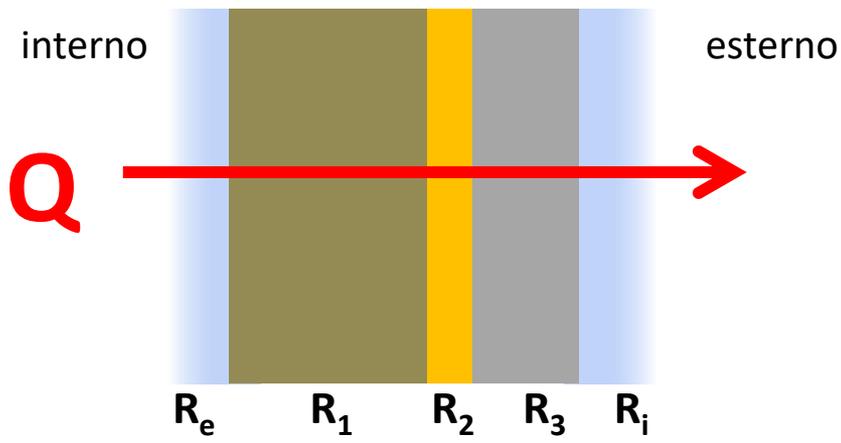
ESEMPIO: DATI CLIMATICI DI BRESCIA (UNI 10349/2016)

Valori medi orari



IL BILANCIO ENERGETICO DELLE STRUTTURE

In regime stazionario



$$Q = U \cdot A \cdot (\Delta T) \cdot t$$

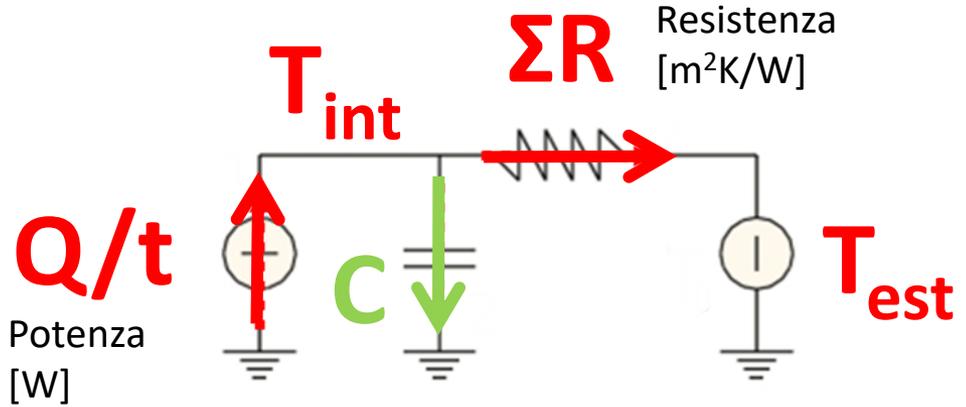
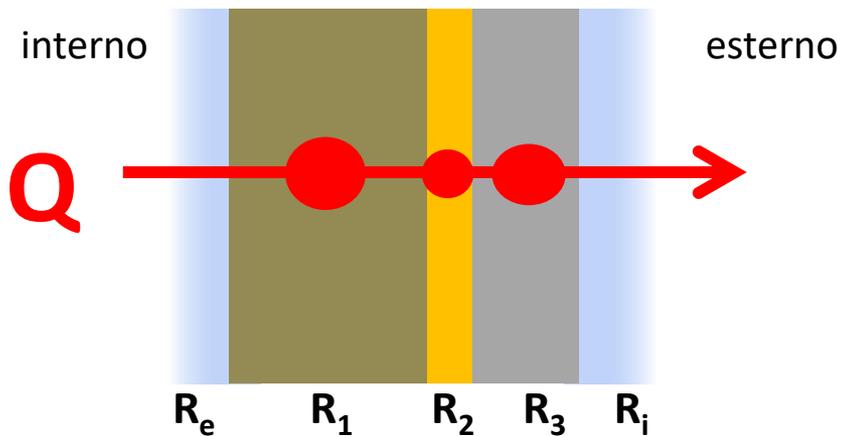
$$Q/t = (A/\Sigma R) \cdot (\Delta T)$$

↓
Potenza
[W]

↓
Resistenze termiche
[m^2K/W]

IL BILANCIO ENERGETICO DELLE STRUTTURE

In regime dinamico



$$Q/t = (A/\Sigma R) \cdot (\Delta T) + m \cdot c \cdot \dot{T}$$

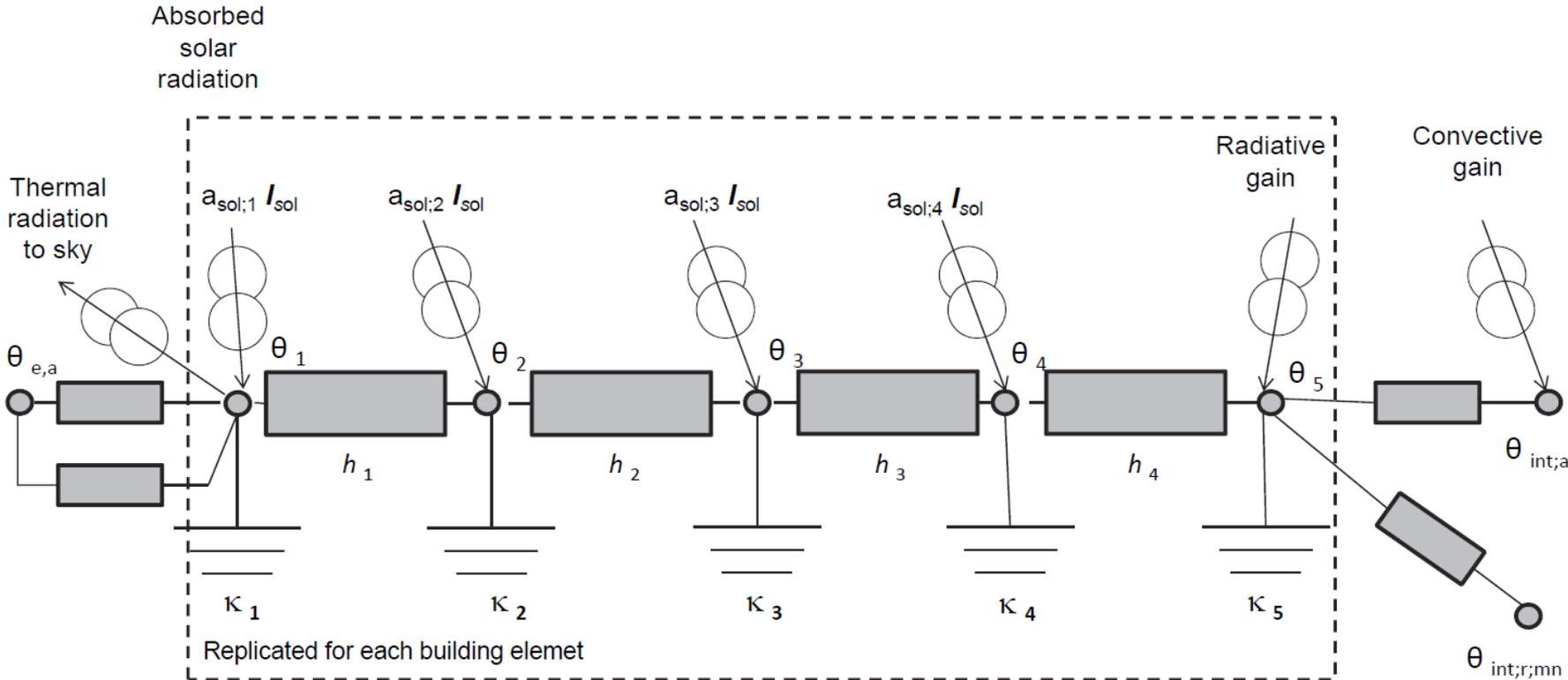
Potenza [W]

Resistenze termiche [m²K/W]

Effetto d'accumulo
Capacità termica [J/kgK] Variazione della temperatura nel tempo [K]

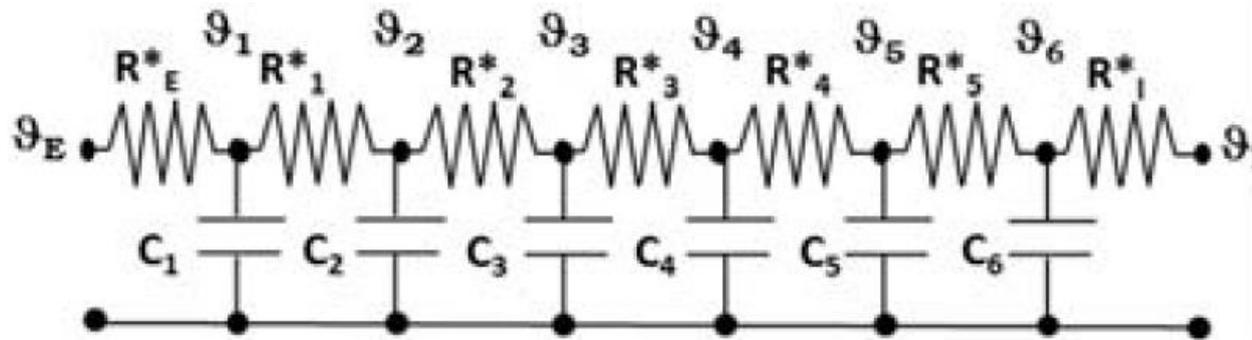
IL BILANCIO ENERGETICO DELLE STRUTTURE

EN ISO 52016 – Schema RC a 5 nodi per le strutture opache



IL BILANCIO ENERGETICO DELLE STRUTTURE

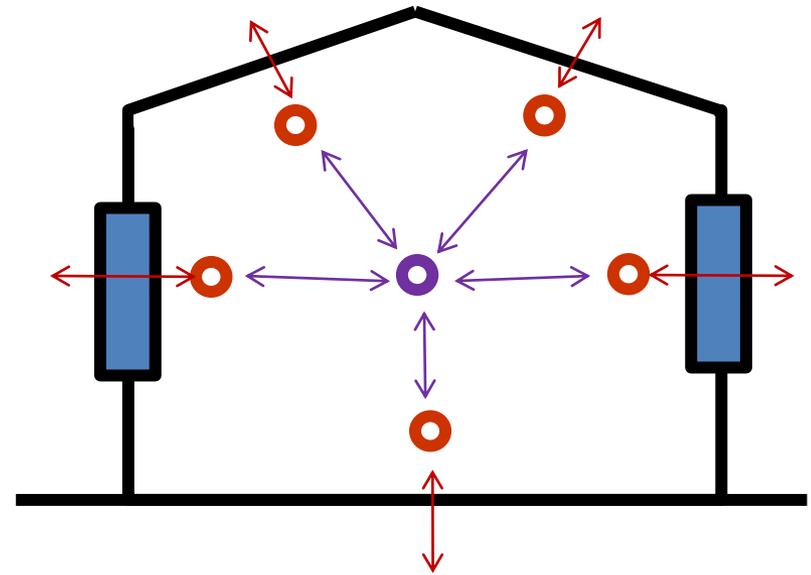
UNI EN ISO 52016 – Schema RC a n nodi per le strutture opache



- Uno o più nodi capacitivi per ciascuno strato
- Due resistenze ogni nodo capacitivo
- Numero di Fourier fissato a 0,5 per definire i nodi di ogni singolo strato

CALCOLO ORARIO IN REGIME DINAMICO

Risoluzione di un sistema lineare
a punti concentrati RC (resistenze-condensatori)



Bilancio tra i nodi e l'ambiente interno
(profilo ventilazione, carichi interni, apporti
solari attraverso le finestre)

Comfort adattivo e temperatura operante estiva

PREVEDERE IL COMFORT



Come si fa a prevedere in fase progettuale se un edificio sarà confortevole?



Previsione in ambienti controllati in accordo con UNI EN ISO 7730:2006

Previsione in condizioni free running in accordo con UNI EN ISO 15251:2008

IL COMFORT IN UN AMBIENTE CONTROLLATO

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

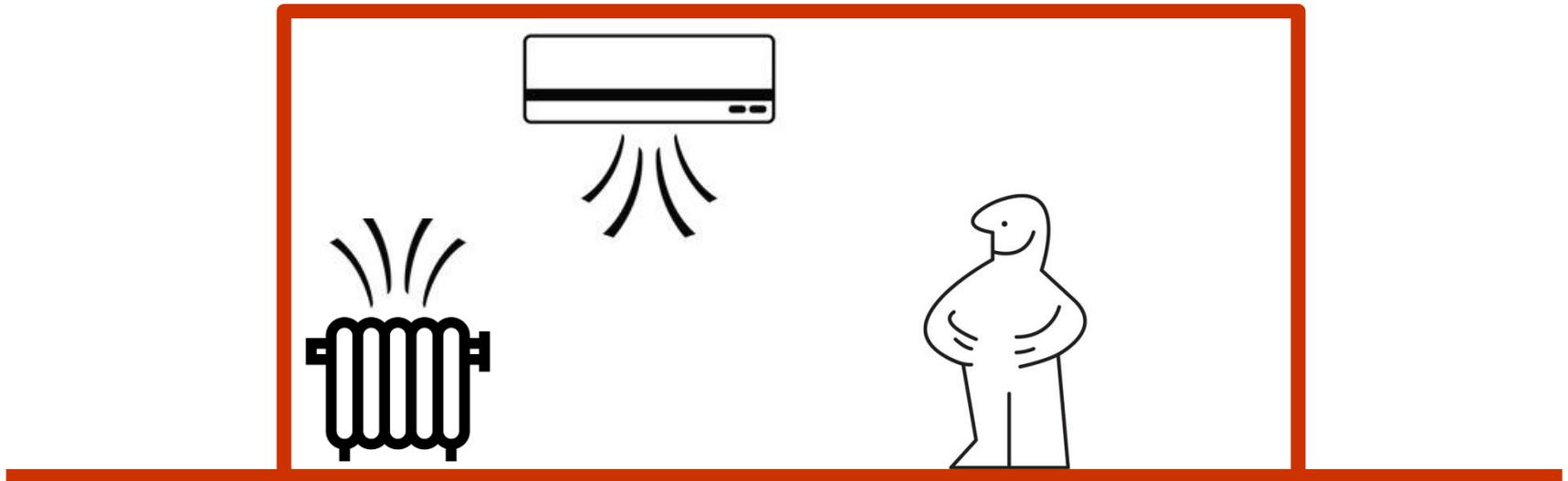


Costruzione di un modello di previsione medio statistico a partire da un campione di 1300 persone soggette a variazioni di condizioni

- ambientali (temperatura, velocità dell'aria, ecc.)
- personali (vestiario, attività metabolica, ecc.)

IL COMFORT IN UN AMBIENTE CONTROLLATO

[UNI EN ISO 7730:2006](#)



IL COMFORT IN UN AMBIENTE CONTROLLATO

PMV

Voto Medio Previsto
(Predicted Mean Vote)

PMV – Scala di sensazione termica a sette punti	
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Abbastanza caldo
0	Né caldo né freddo
-1	Abbastanza freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo

IL COMFORT IN UN AMBIENTE CONTROLLATO

PPD

Previsione Percentuale di Insoddisfatti
(Predicted Percentage of Dissatisfied)

PMV	PPD	Previsione di voto		
		% che voterebbe 0	% che voterebbe -1, 0 o +1	% che voterebbe -2, -1, 0 o +1,+2
+2	75	5	25	70
+1	25	30	75	90
+0.5	10	35	90	98
0	5	60	95	100
-0.5	10	55	90	98
-1	25	30	75	98
-2	75	5	25	70

Obiettivo per garantire il comfort

IL COMFORT IN UN AMBIENTE CONTROLLATO

CBE Thermal Comfort Tool

ASHRAE-55 EN-15251 Compare Ranges Upload

Select method: PMV method

Air temperature: 27 °C

Mean radiant temperature: 27 °C

Air speed: 0.6 m/s

Humidity: 20 %

Metabolic rate: 1.2 met

Clothing level: 0.5 clo

Use operative temperature

Local air speed control

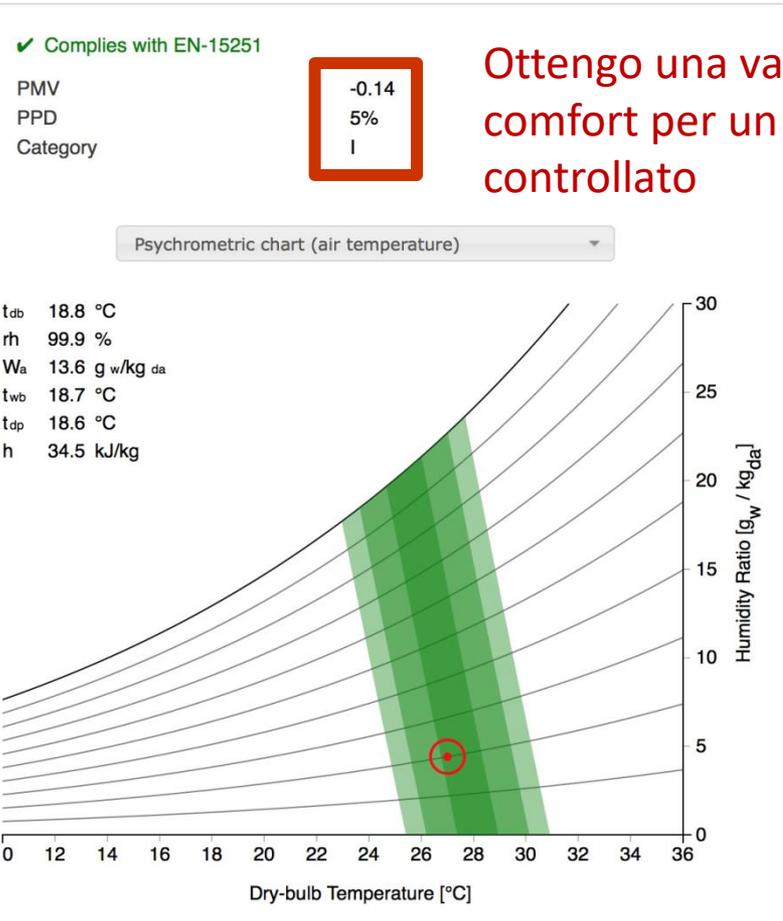
Relative humidity

Standing, relaxed: 1.2

Typical summer indoor

Create custom ensemble

Globe temp Specify pressure Set defaults SI IP Local discomfort ? Help



Ottego una valutazione del comfort per un ambiente controllato

Ipotizzo le condizioni ambientali e personali

<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

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

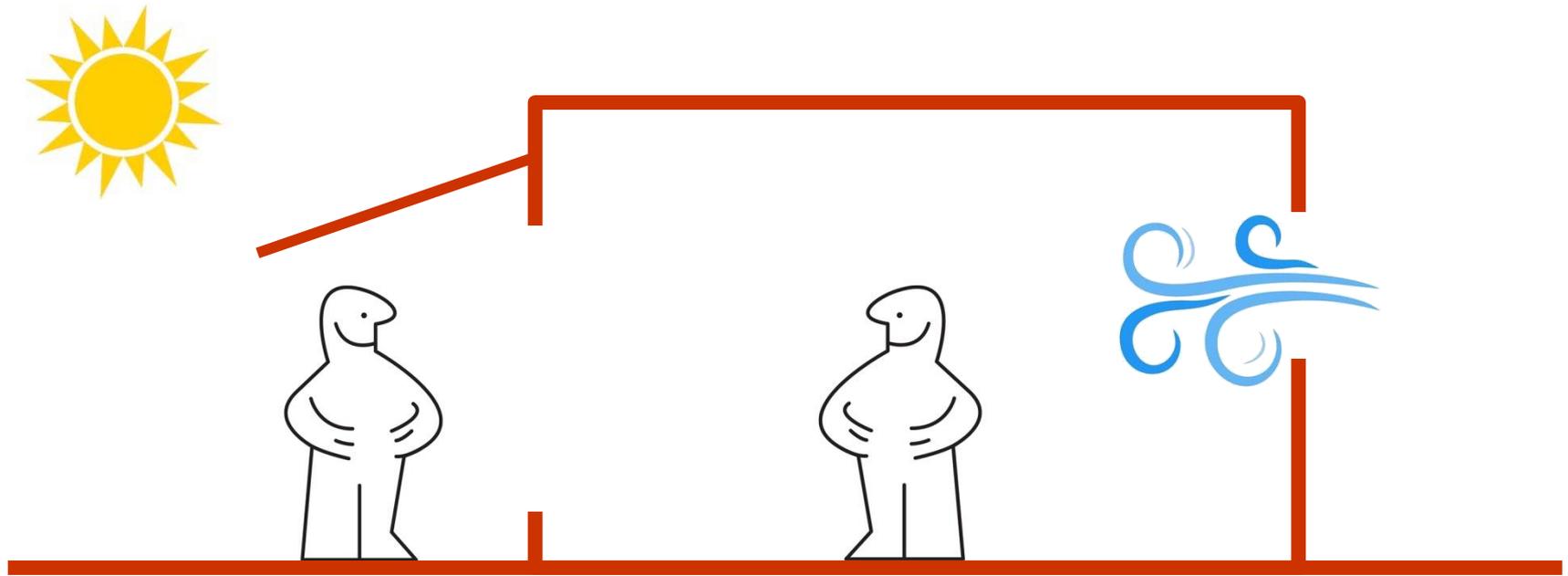


La sensazione di comfort provato in un ambiente è legata:

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

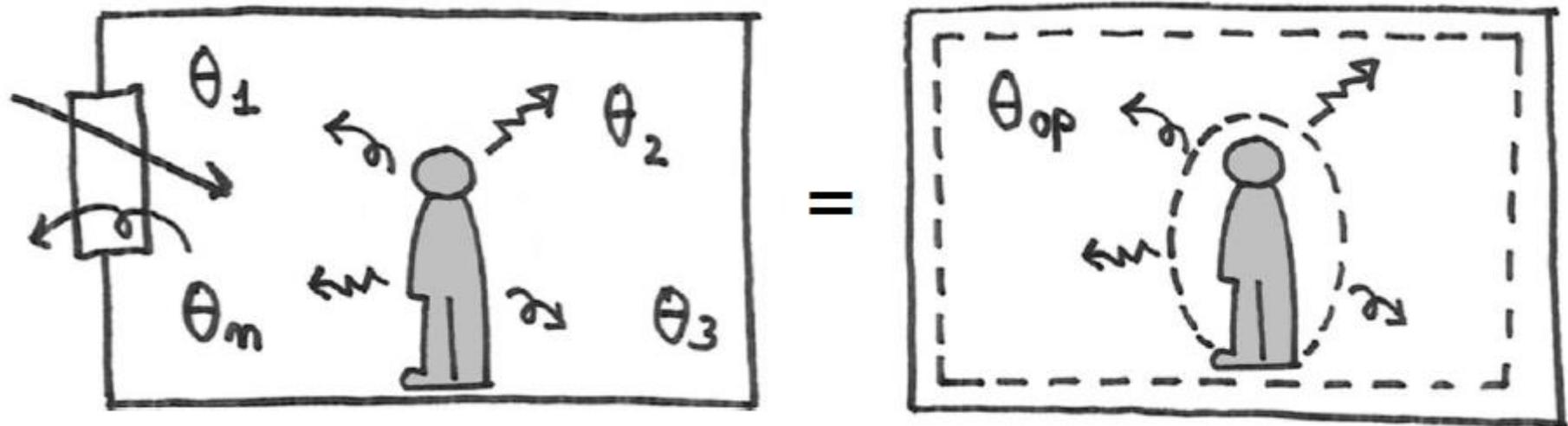
IL COMFORT ADATTIVO

UNI EN 16798-1:2019



IL COMFORT ADATTIVO

La temperatura percepita = temperatura operante (UNI EN ISO 52016)



Definizione:

la temperatura operante è un parametro fittizio rappresentativo di un ambiente uniforme nel quale un soggetto scambierebbe la stessa potenza termica di un ambiente reale non uniforme.

IL COMFORT ADATTIVO

temperatura operante all'ora t [°C];

$$\theta_{op,t} = \frac{\theta_{ai,t} + \theta_{mr,t}}{2}$$

temperatura dell'aria interna all'ora t [°C];

temperatura media radiante all'ora t [°C].



Il calcolo di queste grandezze si esegue in regime dinamico, con passo orario e in assenza di impianti.

IL COMFORT ADATTIVO

Modelli previsionali del comfort interno di una stanza in condizioni non controllate (free running)

UNI EN 16798-1:2019



$$\theta_c = 0,33\theta_{rm} + 18,8$$

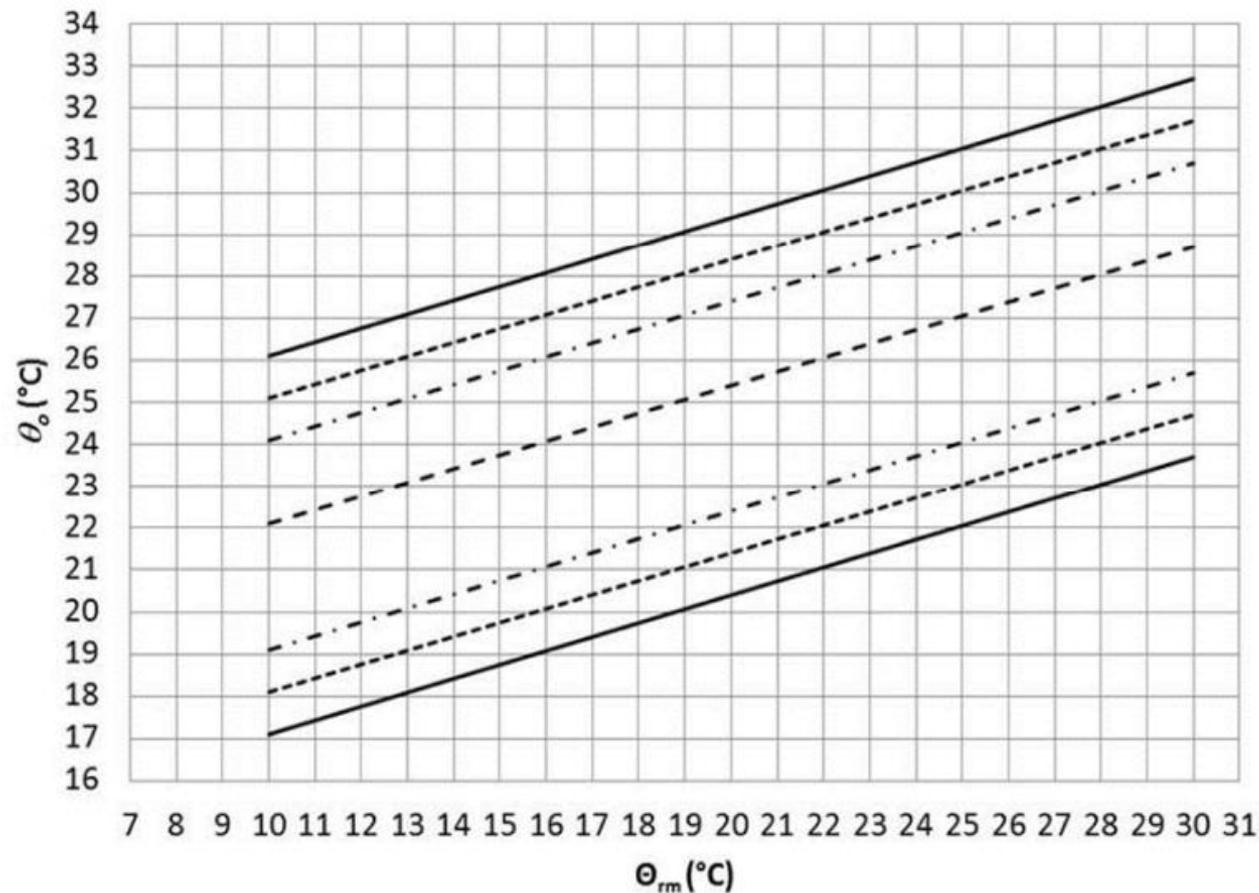
Category I	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 2$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 3$
Category II	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 3$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 4$
Category III	upper limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$
	lower limit:	$\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 5$

θ_o = indoor operative temperature, °C

θ_{rm} = running mean outdoor temperature, °C

θ_c = Optimal operative temperature, °C

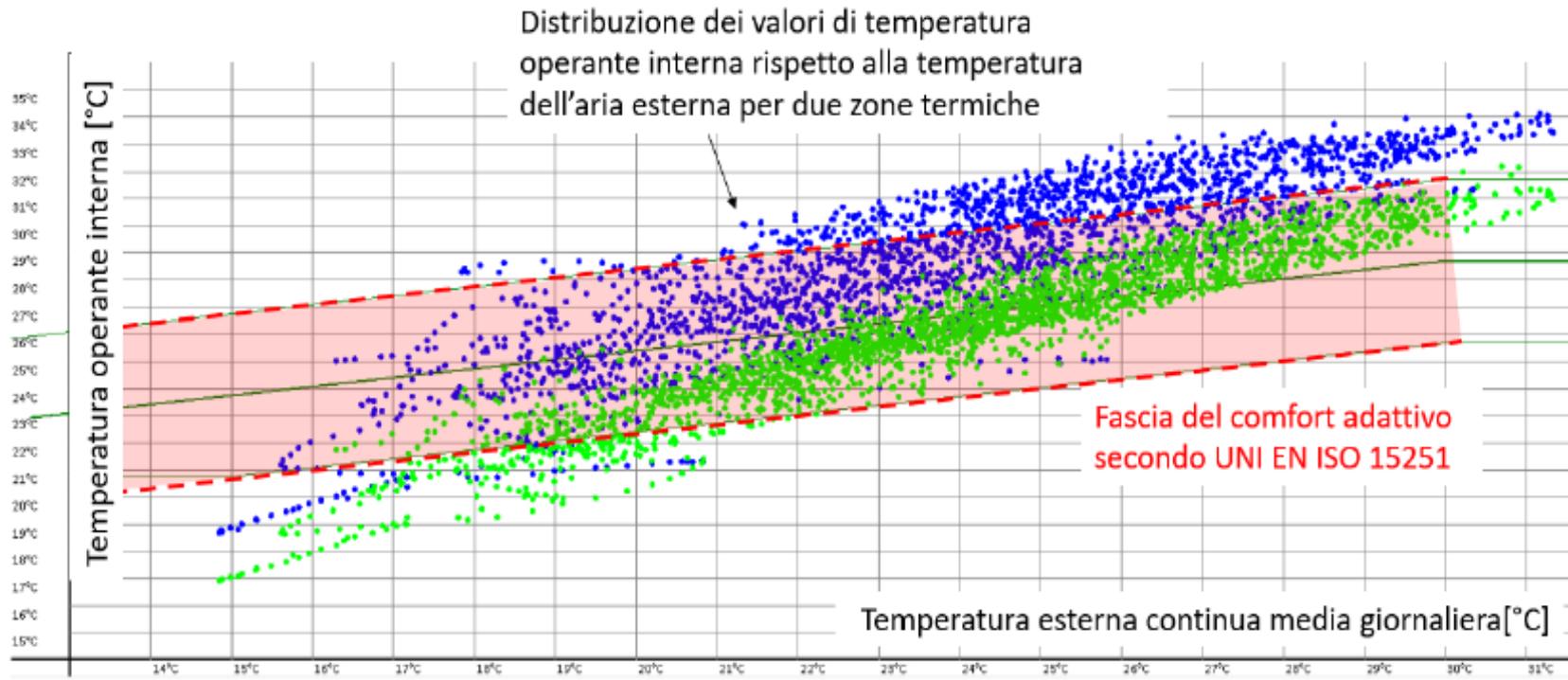
IL COMFORT ADATTIVO



Il modello europeo. Nel grafico sono visualizzati i confini delle categorie di comfort I, II e III secondo la norma UNI EN 16798-1:2019

IL COMFORT ADATTIVO

Analisi del comfort adattivo – maggio/agosto



Il grafico propone la diffusione dei valori di temperatura operante ricavata da una simulazione dinamica rispetto alla temperatura climatica esterna. La condizione di benessere è verificata se il risultato cade all'intero della fascia tratteggiata.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

CAM EDILIZIA - Decreto 23 giugno 2022 (in vigore dal 4 dicembre 2022)

2.4.2 Prestazione energetica

Criterio

Fermo restando quanto previsto all'allegato 1 del decreto interministeriale 26 giugno 2015 «Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici» e le definizioni ivi contenute e fatte salve le norme o regolamenti locali (ad esempio i regolamenti regionali, ed i regolamenti urbanistici e edilizi comunali), qualora più restrittivi, i progetti degli interventi di nuova costruzione, di demolizione e ricostruzione e di ristrutturazione importante di primo livello, garantiscono adeguate condizioni di comfort termico negli ambienti interni tramite una delle seguenti opzioni:

- a. verifica che la massa superficiale di cui al comma 29 dell'Allegato A del decreto legislativo 19 agosto 2005 n. 192, riferita ad ogni singola struttura opaca verticale dell'involucro esterno sia di almeno 250 kg/m^2 ;
- b. verifica che la trasmittanza termica periodica Y_{ie} riferita ad ogni singola struttura opaca dell'involucro esterno, calcolata secondo la UNI EN ISO 13786, risulti 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 al valore di $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le pareti opache orizzontali e inclinate.
- c. verifica che il numero di ore di occupazione del locale, in cui la differenza in valore assoluto tra la temperatura operante (in assenza di impianto di raffrescamento) e la temperatura di riferimento è inferiore a 4°C , risulti superiore all'85% delle ore di occupazione del locale tra il 20 giugno e il 21 settembre.

Continua →

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

CAM EDILIZIA - Decreto 23 giugno 2022 (in vigore dal 4 dicembre 2022)

Verifica

La Relazione CAM, oltre a quanto chiesto nel criterio “2.2.1-Relazione CAM”, include la relazione tecnica di cui al decreto interministeriale 26 giugno 2015 dianzi citato e la relazione tecnica e relativi elaborati di applicazione CAM, nella quale sia evidenziato lo stato ante operam, gli interventi previsti, i conseguenti risultati raggiungibili e lo stato post operam. Per gli edifici storici, la conformità al criterio è verificata tramite gli elaborati indicati nella norma UNI citata.

Per la verifica dinamica oraria del comfort termico estivo la temperatura operante estiva ($\theta_{o,t}$) si calcola secondo la procedura descritta dalla **UNI EN ISO 52016-1**, con riferimento alla stagione estiva (20 giugno – 21 settembre) in tutti gli ambienti principali.

La verifica garantisce quanto segue:

$|\theta_{o,t} - \theta_{rif}| < 4^\circ\text{C}$ con un numero di ore di comfort $> 85\%$

dove: $\theta_{rif} = (0.33 \theta_{rm}) + 18.8$

dove:

θ_{rm} = temperatura esterna media mobile giornaliera secondo UNI EN 16798-1.

Evoluzione legislativa e normativa

La simulazione dinamica degli edifici

EVOLUZIONE LEGISLATIVA E NORMATIVA

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

EVOLUZIONE LEGISLATIVA E NORMATIVA

In arrivo (entro il 2023?):

Livello legislativo:

- **Decreti attuativi del DLgs 48/20 → nuovi requisiti minimi**
- **Coordinamento sull'obbligo d'uso del calcolo dinamico**

Livello normativo:

- **Nuove UNI/TS 11300 (di raccordo con metodo dinamico)**
- **Appendice nazionale della UNI EN ISO 52016-1**
- **Evoluzione norme impiantistiche agganciate alle UNI EN ISO 52016-1**

SUITE ANIT

Aggiorna scadenza software

Giorni rimanenti: 201
Codice macchina: 1745357421

Software ANIT

Sviluppato da TEP s.r.l.

ICARO 1.0

Simulazione dinamica della temperatura operante e del comfort adattivo.

L'uso del presente software e dei relativi risultati sono di esclusiva competenza e responsabilità dell'utente.
Tutti i diritti riservati. Qualsiasi riproduzione non autorizzata è vietata.

Maggiori informazioni e contatti: www.anit.it - software@anit.it

Versione 1.0.0.0

Ultimo aggiornamento: 23/05/2018

Inizia

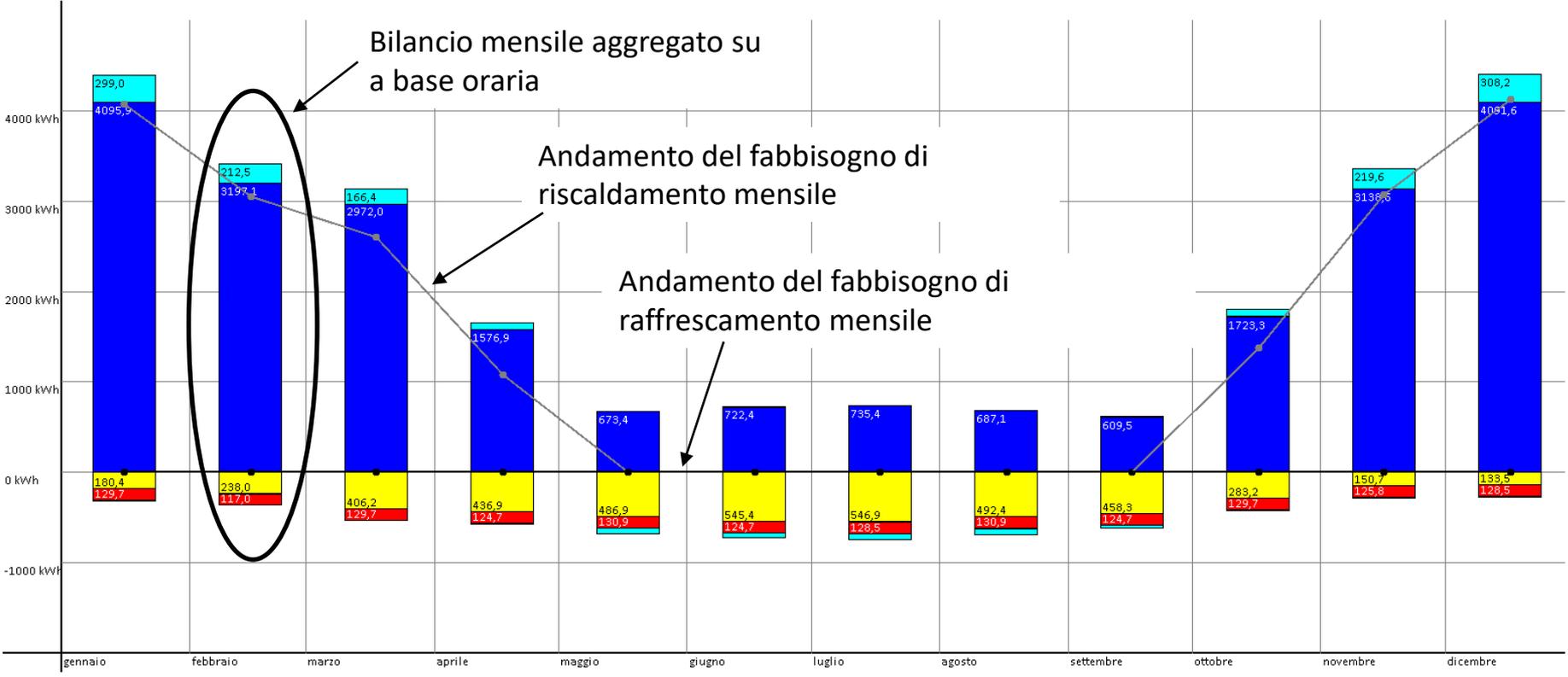
<https://www.anit.it/icaro/>

ANALISI DIANIMICA – fabbisogni mensili aggregati

Risultati mensili aggregati [kWh]

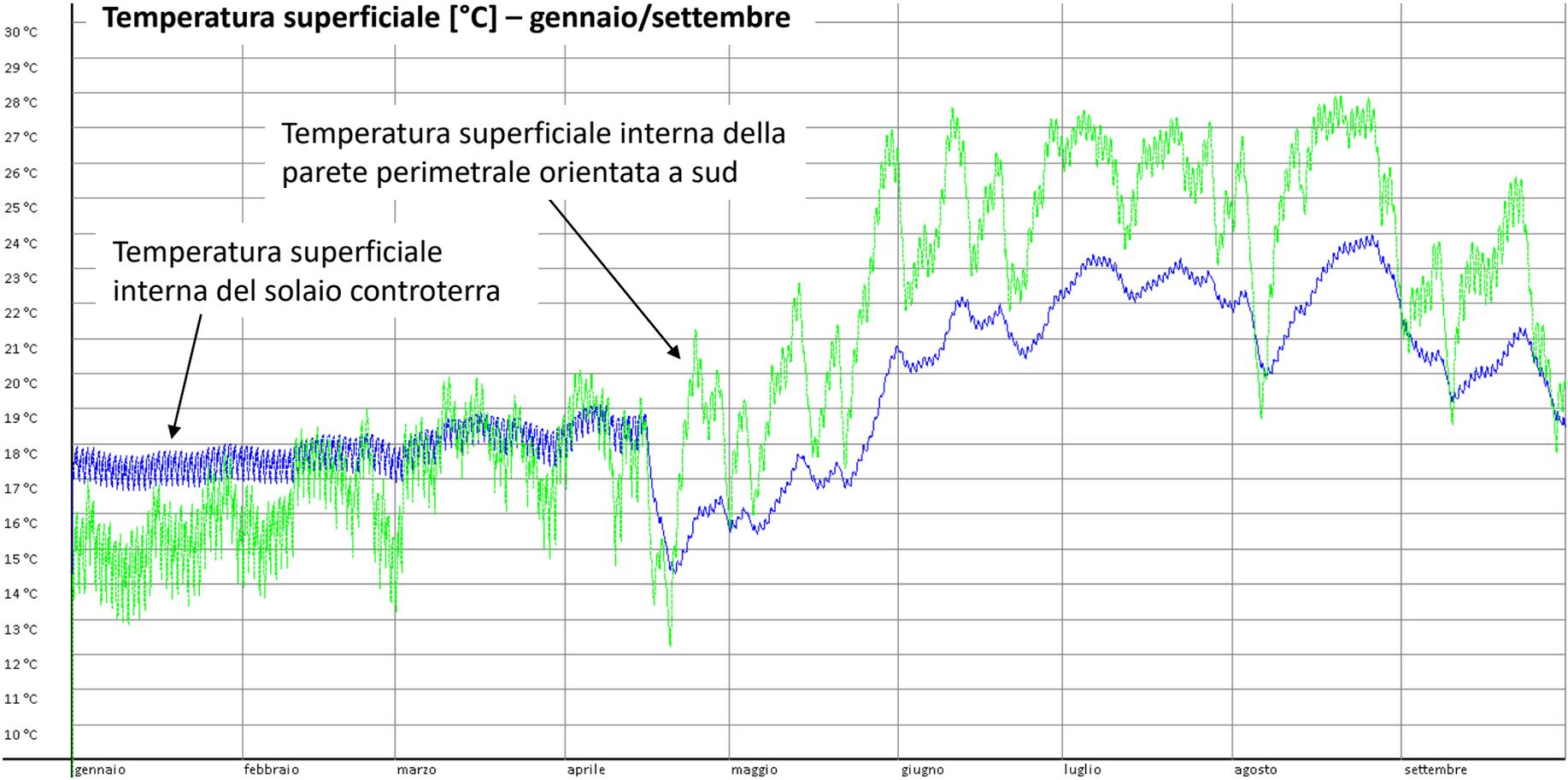
- Dispersioni e apporti solari su opaco
- Dispersioni per ventilazione
- Apporti solari attraverso trasparenti
- Apporti interni

————— Fabbisogno per riscaldamento
 ————— Fabbisogno per raffrescamento



<https://www.anit.it/icaro/>

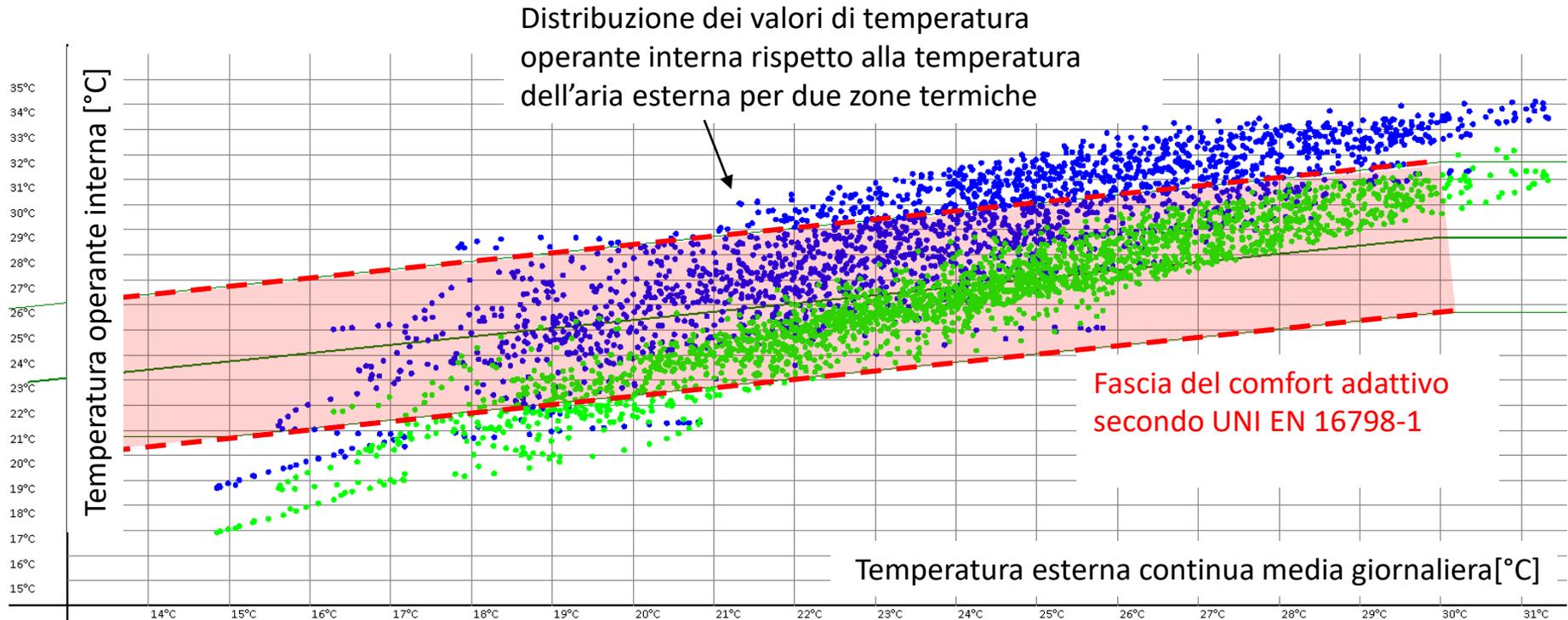
ANALISI DIANIMICA – andamento orario delle temperature



<https://www.anit.it/icaro/>

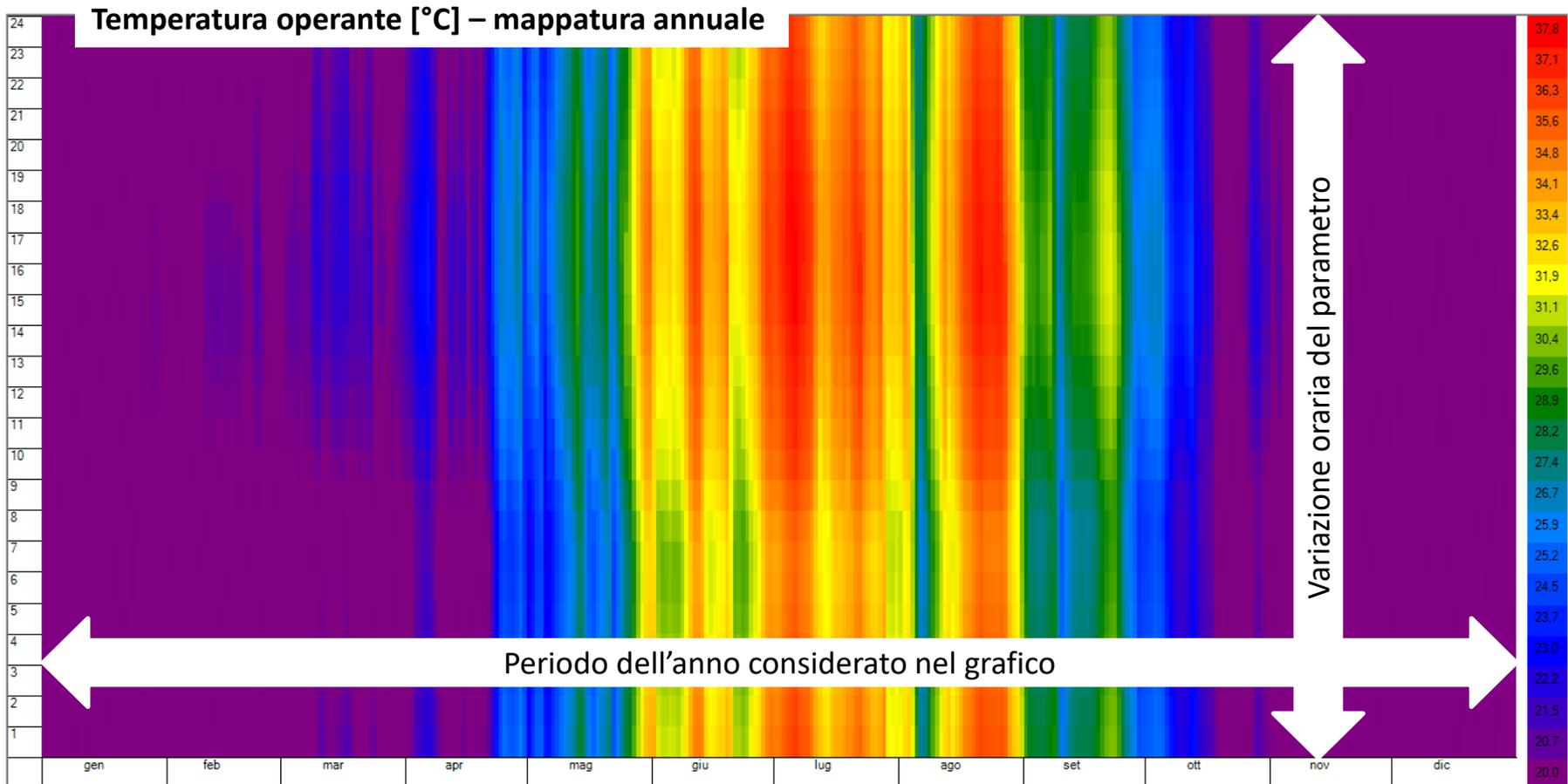
ANALISI DIANIMICA – Analisi del comfort adattivo (CAM)

Analisi del comfort adattivo – maggio/agosto



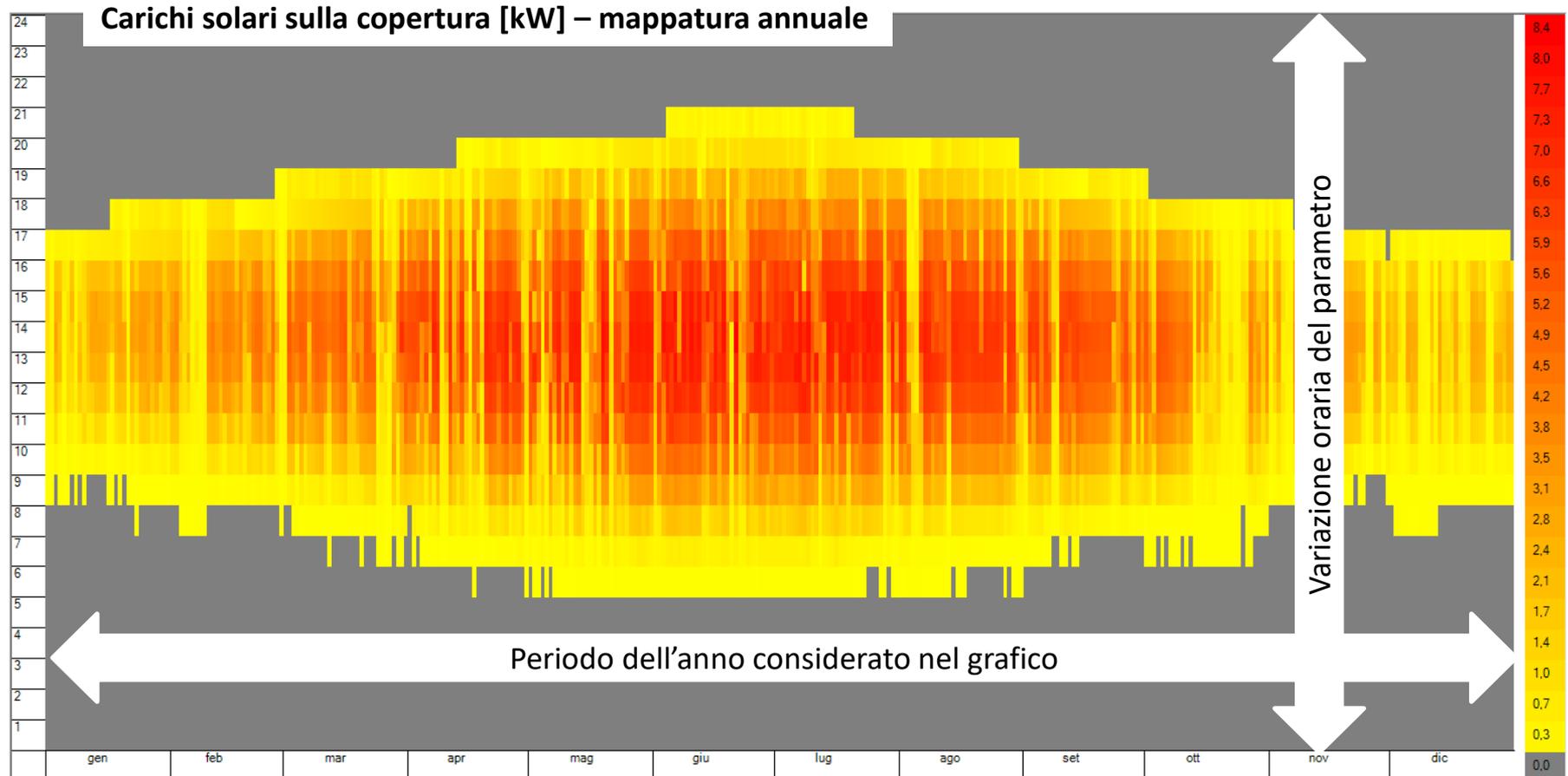
<https://www.anit.it/icaro/>

ANALISI DIANIMICA – Studio delle mappe annuali di temperatura



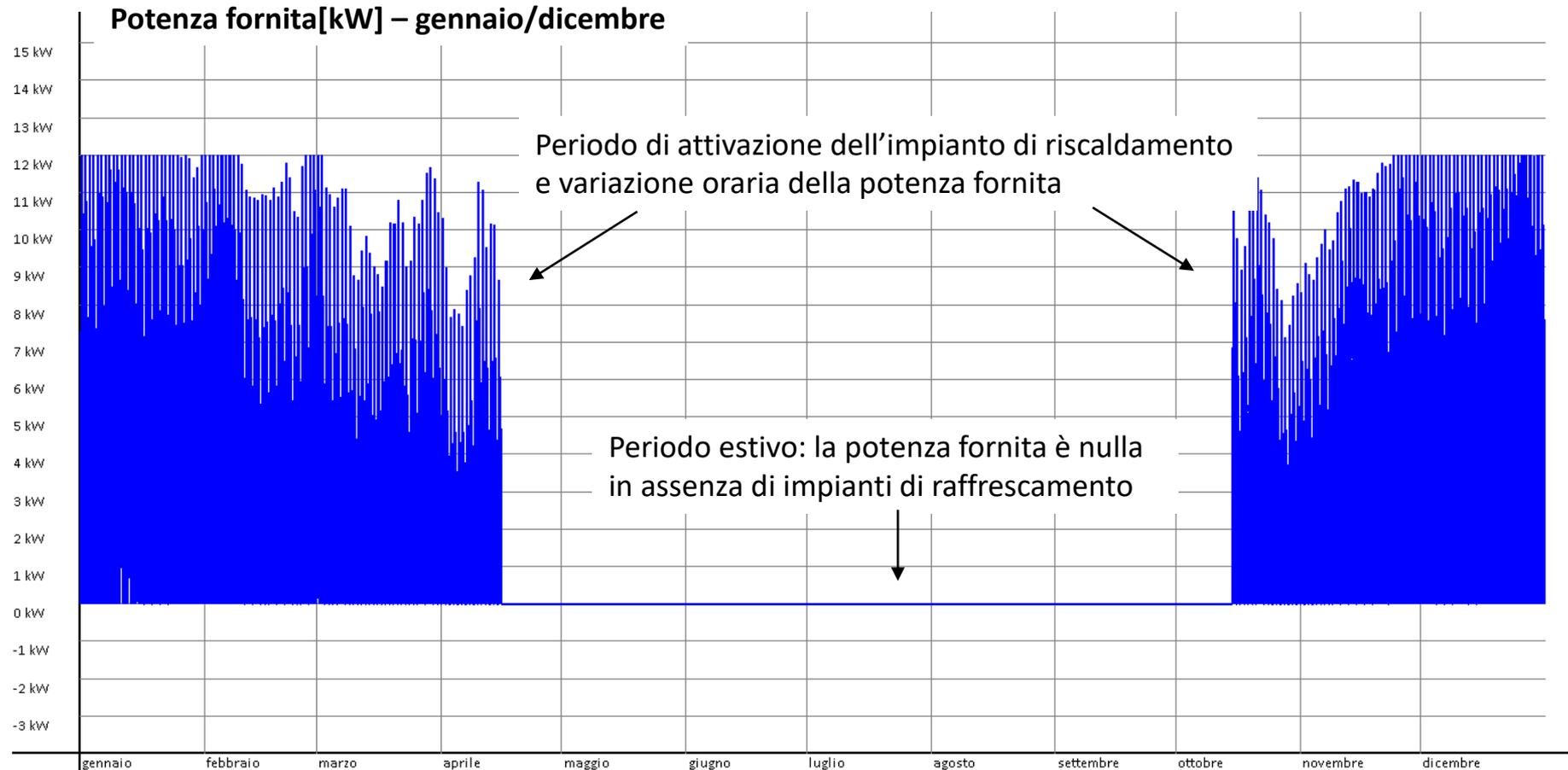
<https://www.anit.it/icaro/>

ANALISI DIANIMICA – Studio delle mappe annuali dei carichi solari



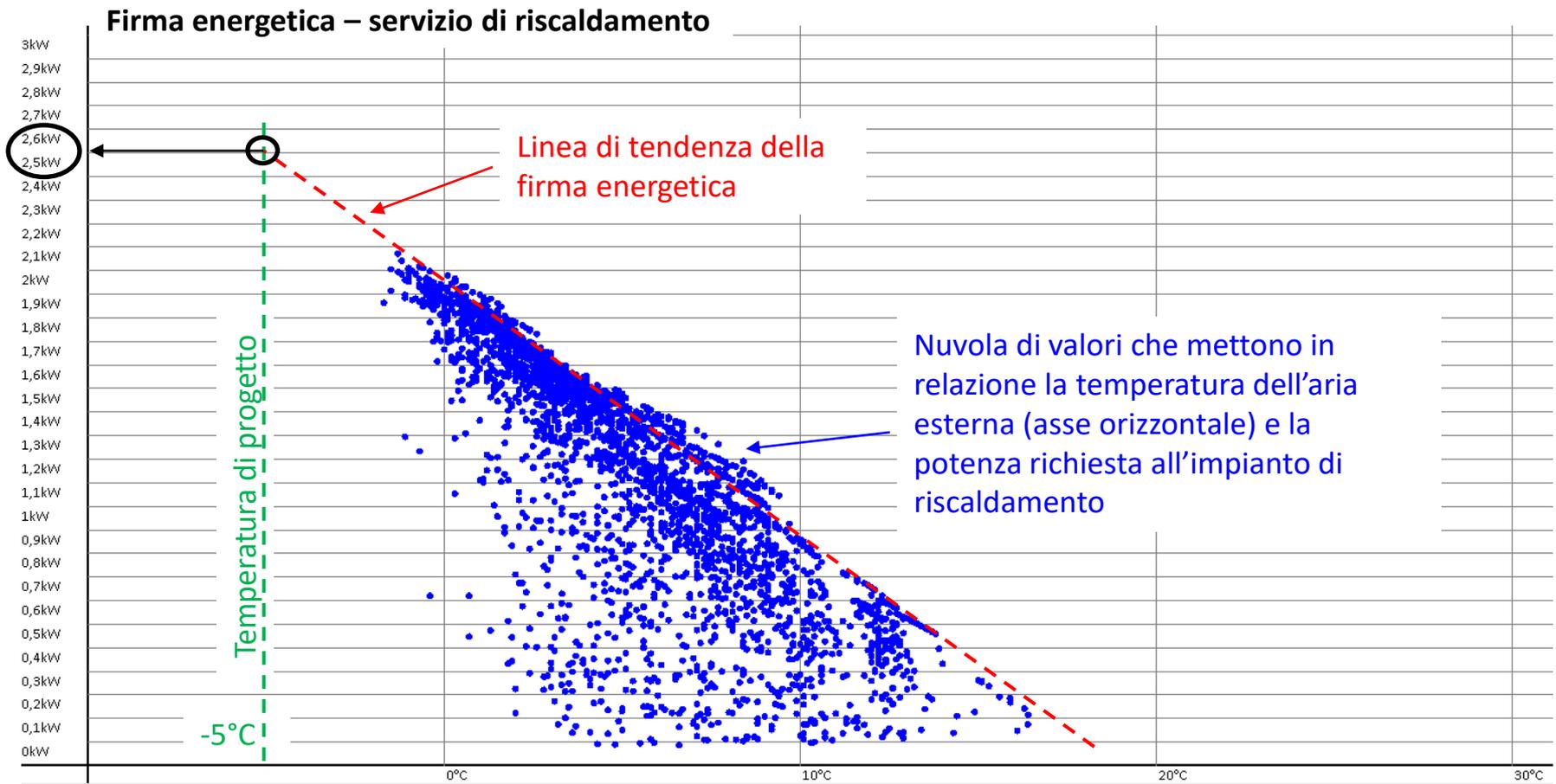
<https://www.anit.it/icaro/>

ANALISI DIANIMICA – Analisi della potenza richiesta



<https://www.anit.it/icaro/>

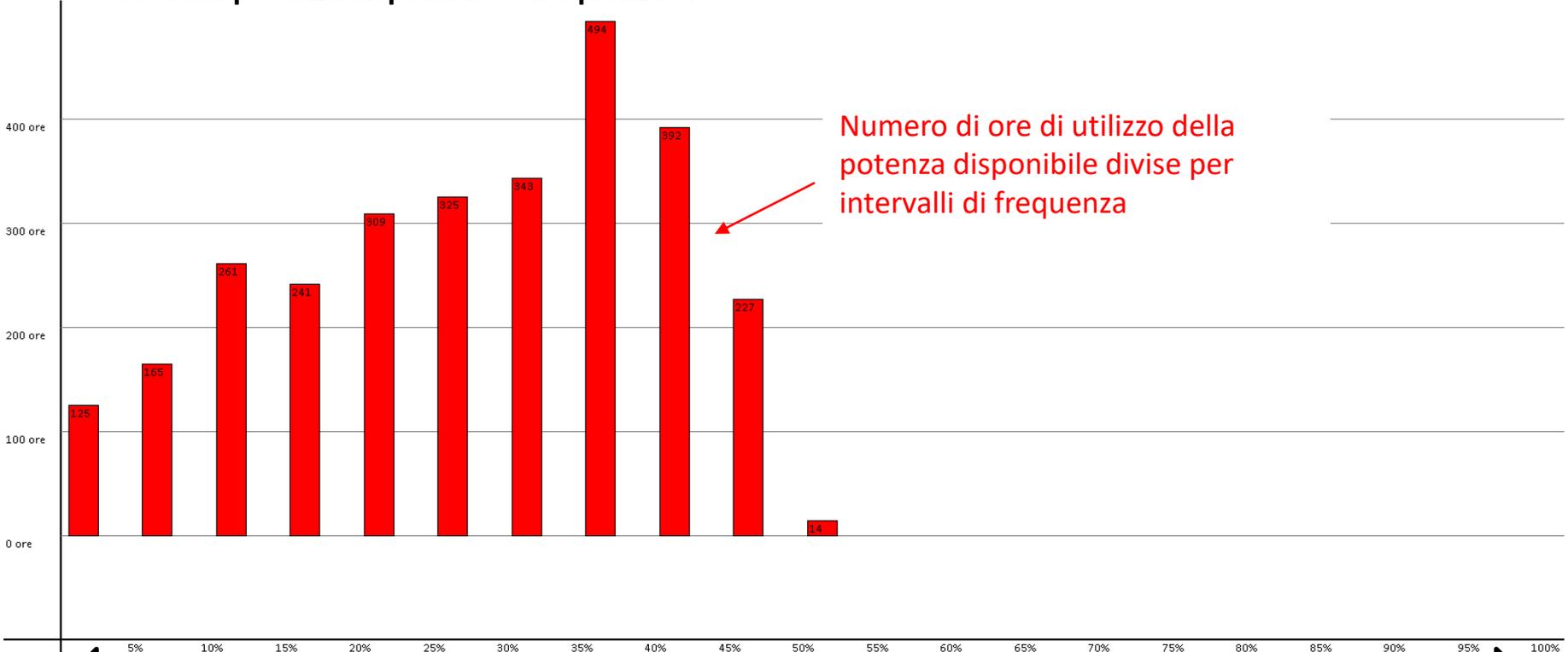
ANALISI DIANIMICA – Analisi della firma energetica



<https://www.anit.it/icaro/>

ANALISI DIANIMICA – Valutazione dell’utilizzo della potenza

Uso della potenza disponibile – frequenza %



Numero di ore di utilizzo della potenza disponibile divise per intervalli di frequenza

← Percentuale di utilizzo: 0%=impianto non utilizzato, 100%=uso di tutta la potenza disponibile →

<https://www.anit.it/icaro/>

PROGRAMMA DELL'INCONTRO

14.45 Attivazione collegamento

15.00 **Introduzione normativa**

Ing. Giorgio Galbusera – ANIT

- Le prestazioni estive dell'involucro opaco
- Requisiti minimi estivi e CAM
- Dai materiali alla stratigrafia: principi per la progettazione estiva
- Il concetto del comfort e l'analisi estiva di una zona termica

16.00 **Tecnologie per l'isolamento estivo**

Arch. Alessia Mora – Celenit

- I materiali isolanti: inerzia e isolamento
- Esempi di stratigrafie per il contenimento dei consumi invernali ed estivi
- Casi di applicazione e soluzioni tecnologiche

17.00 Risposte a domande online

17.15 Chiusura lavori



CELENIT
ISOLANTI NATURALI



ANIT



ASSOCIAZIONE
NAZIONALE
PER L'ISOLAMENTO
TERMICO E ACUSTICO

Grazie per l'attenzione

Diritti d'autore: la presentazione è proprietà intellettuale dell'autore e/o della società da esso rappresentata. Nessuna parte può essere riprodotta senza l'autorizzazione dell'autore.