



PRESTAZIONI IGROMETRICHE, ESTIVE e INVERNALI

Criteri di progettazione delle strutture opache degli edifici

Programma

- 15.00 **Ing. Valeria Erba – ANIT**
Requisiti minimi igrometrici, estivi e invernali secondo le regole della Regione Emilia Romagna
L'approccio alla prestazione nella scelta del materiale isolante.
- 16.00 **Soluzioni tecnologiche**
Dott. Fabio Raggiotto – Stiferite
Le prestazioni del materiale isolante poliuretano
Esempi di stratigrafie: analisi del rischio di condensazione e prestazioni estive
Casi di applicazione e soluzioni tecnologiche

17.00 Pausa lavori

- 17.20 **Ing. Giorgio Galbusera – ANIT**
Progettazione del rischio di condensazione interstiziale e del comportamento energetico in regime stazionario e in regime dinamico con anche la capillarità
- 18.20 Dibattito e chiusura lavori



1.

Prestazioni igrometriche

L'analisi igrotermica in regime dinamico orario

Verifiche igrotermiche – manuale gratuito

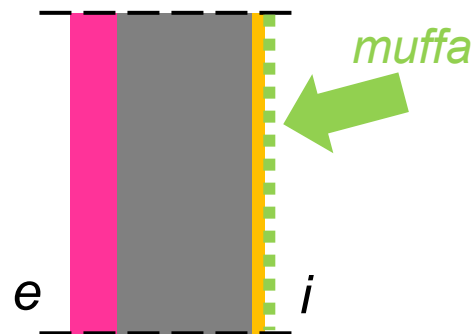


<https://www.anit.it/pubblicazione/manuale-anit-analisi-del-rischio-di-condensazione/>

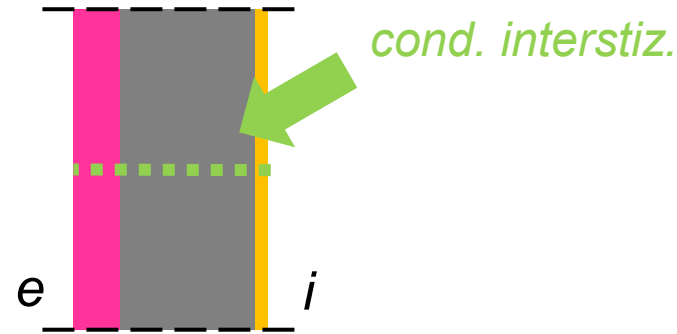
Verifiche igrotermiche (Requisiti minimi)

Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica:

- dell'assenza di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- dell'assenza di condensazioni interstiziali



*Rischio di muffa:
controllo sulla
superficie interna*



*Rischio di condensazione
interstiziale: controllo lungo la
sezione della stratigrafia*

Verifiche igrotermiche (Requisiti minimi)

Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica:

- dell'assenza di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- dell'assenza di condensazioni interstiziali

FAQ 2.24/2016

*Ammessa anche l'analisi
igrotermica dinamica secondo
UNI EN 15026).*

UNI EN ISO 13788:2013

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma internazionale fornisce metodi di calcolo semplificati per determinare:

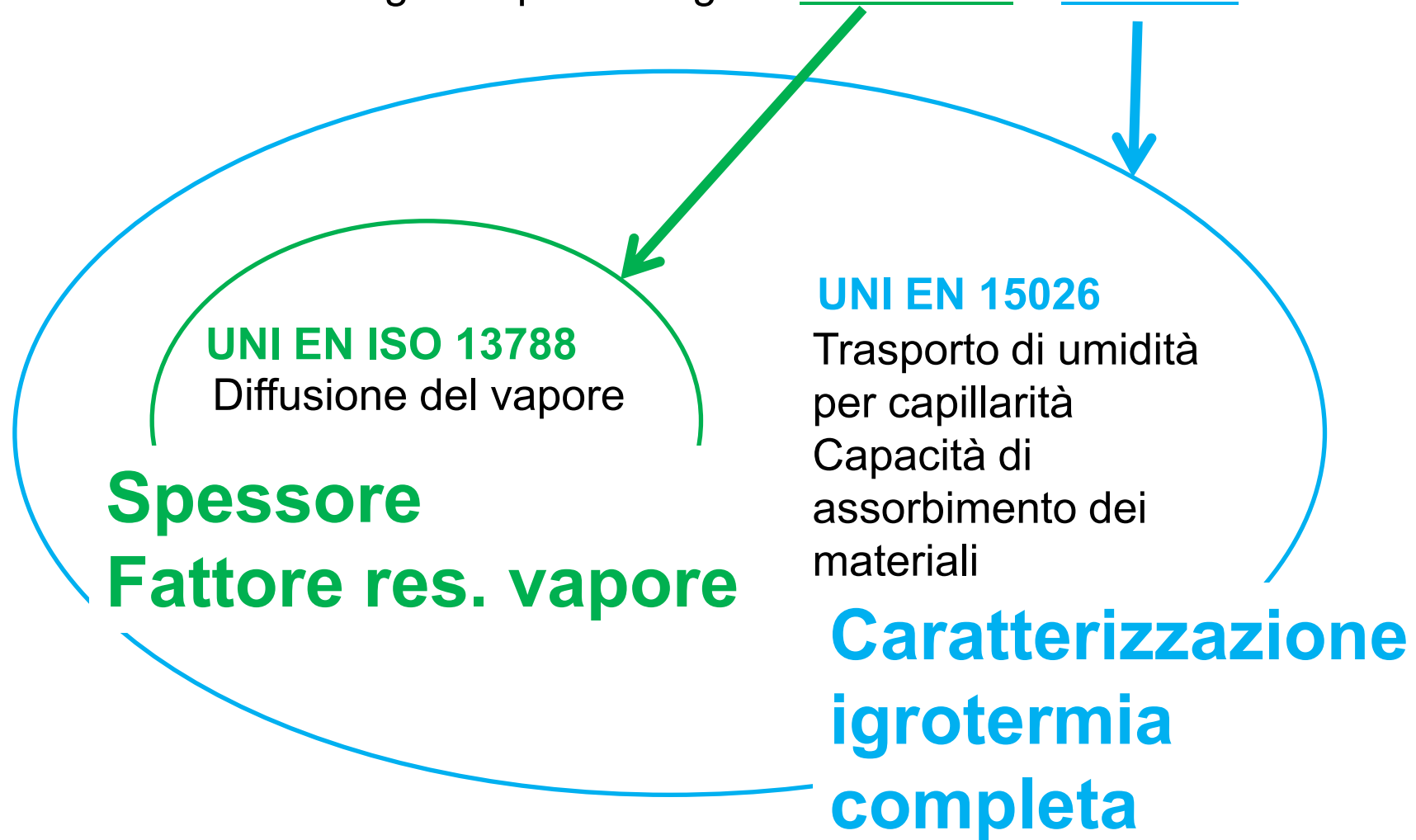
- a) la temperatura superficiale interna di componenti o elementi edilizi al di sotto della quale è probabile la crescita di muffe, in funzione della temperatura e dell'umidità relativa interne. Il metodo può essere anche utilizzato per la valutazione del rischio di altri problemi di condensazione superficiale interna;
- b) la valutazione del rischio di condensazione interstiziale dovuta alla diffusione del vapore acqueo. Il metodo usato **non tiene conto** di alcuni importanti fenomeni fisici, quali:
 - la variazione delle proprietà dei materiali in funzione del contenuto di umidità;
 - la risalita capillare e il trasporto di acqua liquida all'interno dei materiali;
 - il moto dell'aria attraverso fessure o intercapedini dall'interno dell'edificio nel componente;
 - la capacità igroscopica dei materiali.

Di conseguenza il metodo può essere applicato solo a strutture nelle quali questi fenomeni possono essere considerati trascurabili.

Norme di calcolo

UNI EN 15026:2023

Analisi dei fenomeni igroscopici: in regime stazionario e dinamico



Norme di calcolo

Software di analisi igrotermica

ANIT/TEP

PAN

analisi 1D stazionaria
media mensile e oraria

IRIS

analisi 2D agli elementi finiti
stazionaria mensile

Novità 2026
CLIO

analisi 1D dinamica oraria

Fraunhofer IBP

WUFI Pro

analisi 1D dinamica oraria

WUFI 2D

analisi 2D dinamica oraria

WUFI Plus

analisi dinamica oraria di un
intero edificio

Univ. Dresda

DELPHIN

analisi 2D dinamica oraria

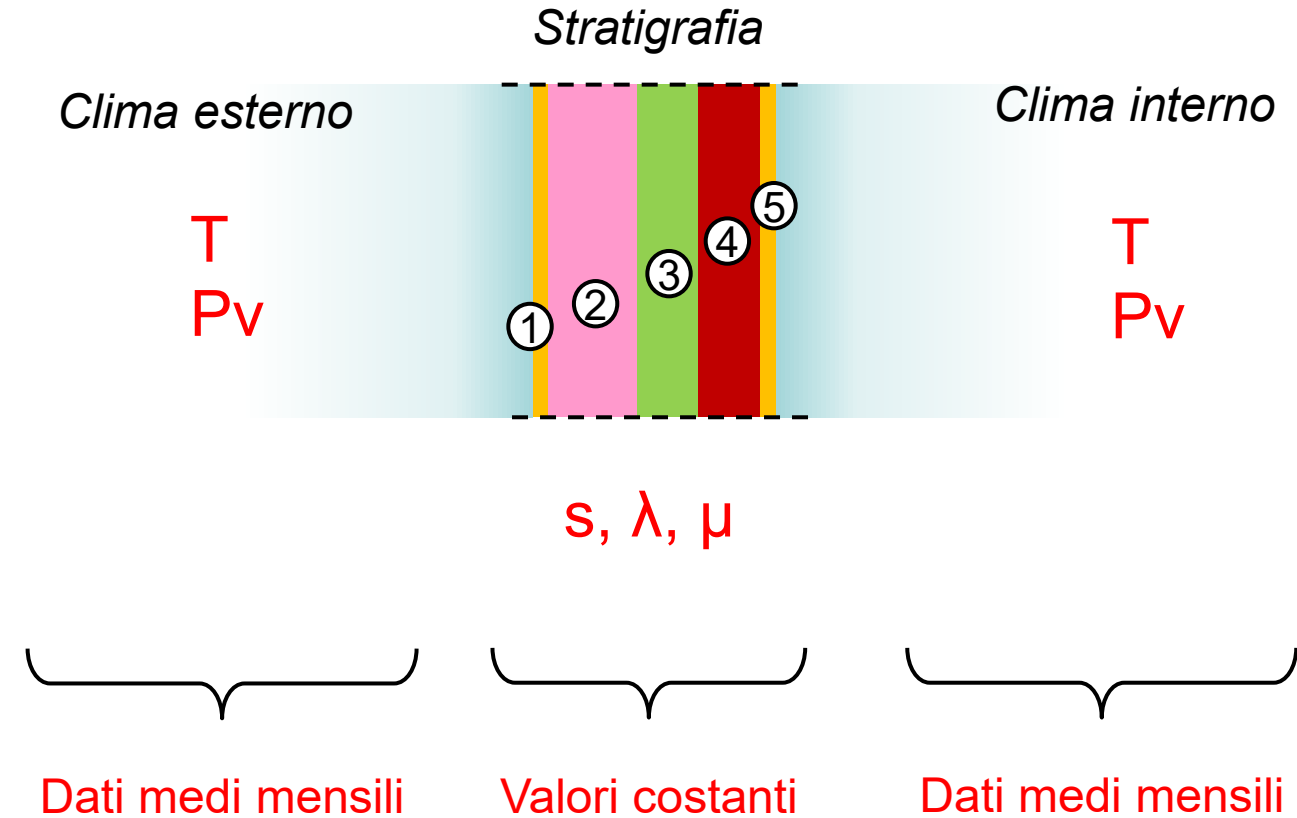
Agenzia Casaclima

ProClimax Hygrothermal

analisi 1D

Norme di calcolo

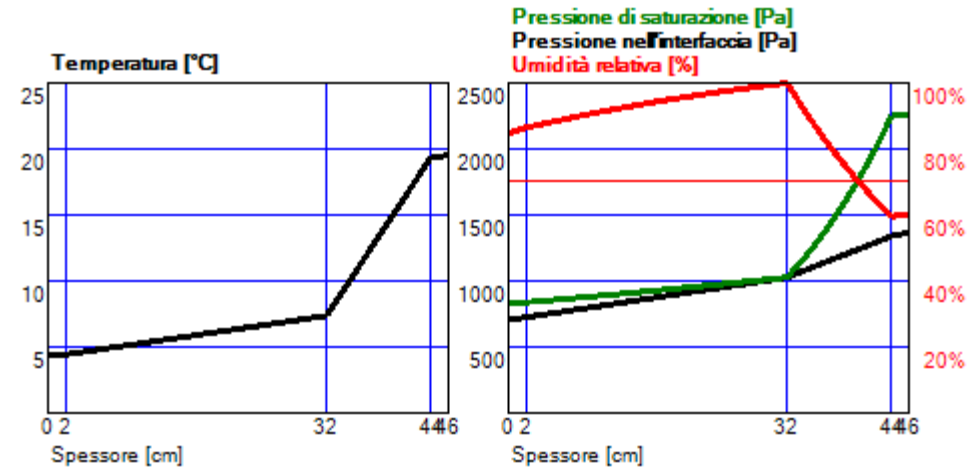
UNI EN ISO 13788 Calcolo stazionario medio mensile



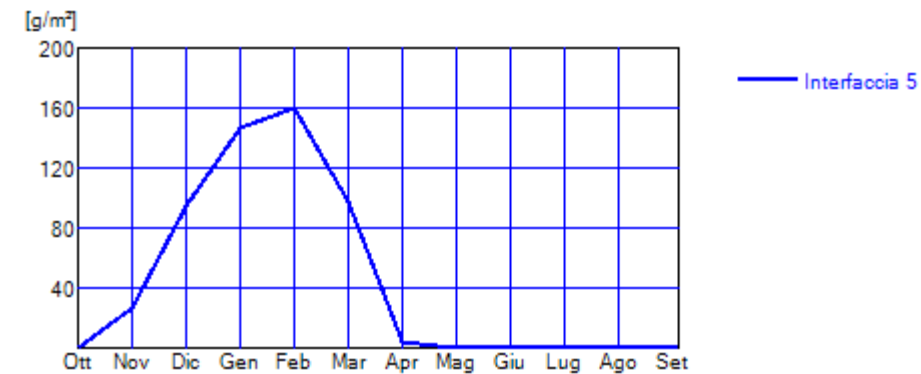
Norme di calcolo

UNI EN ISO 13788 Risultati

*Andamento delle pressioni nell'interfaccia.
Diagrammi di Glaser*

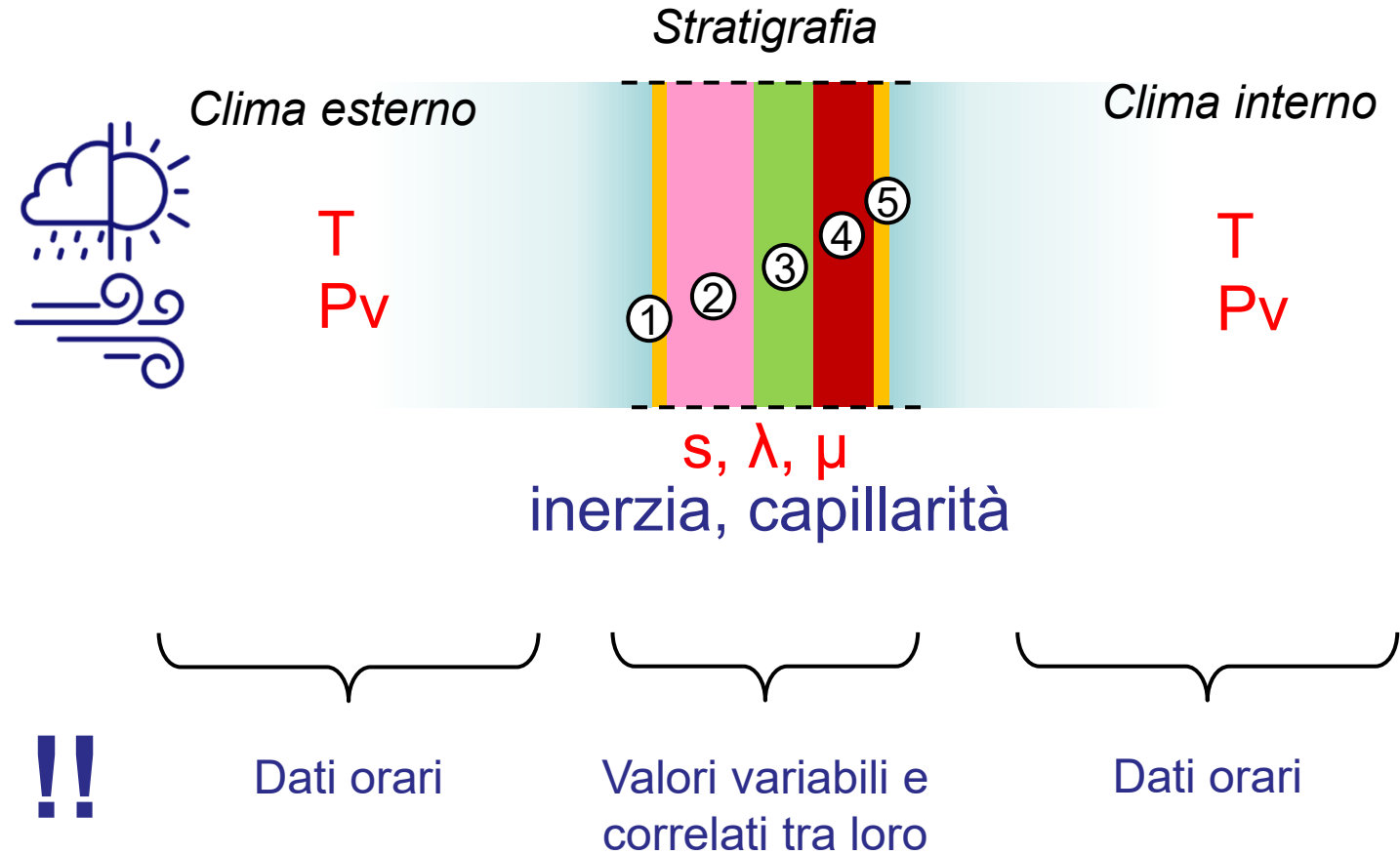


Valutazione della quantità media di condensa interstiziale accumulata



Norme di calcolo

UNI EN 15026 Calcolo igrotermico dinamico orario

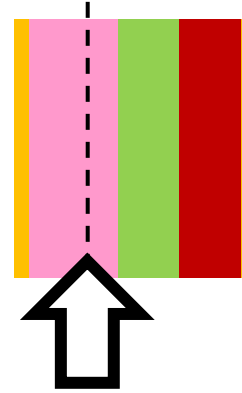
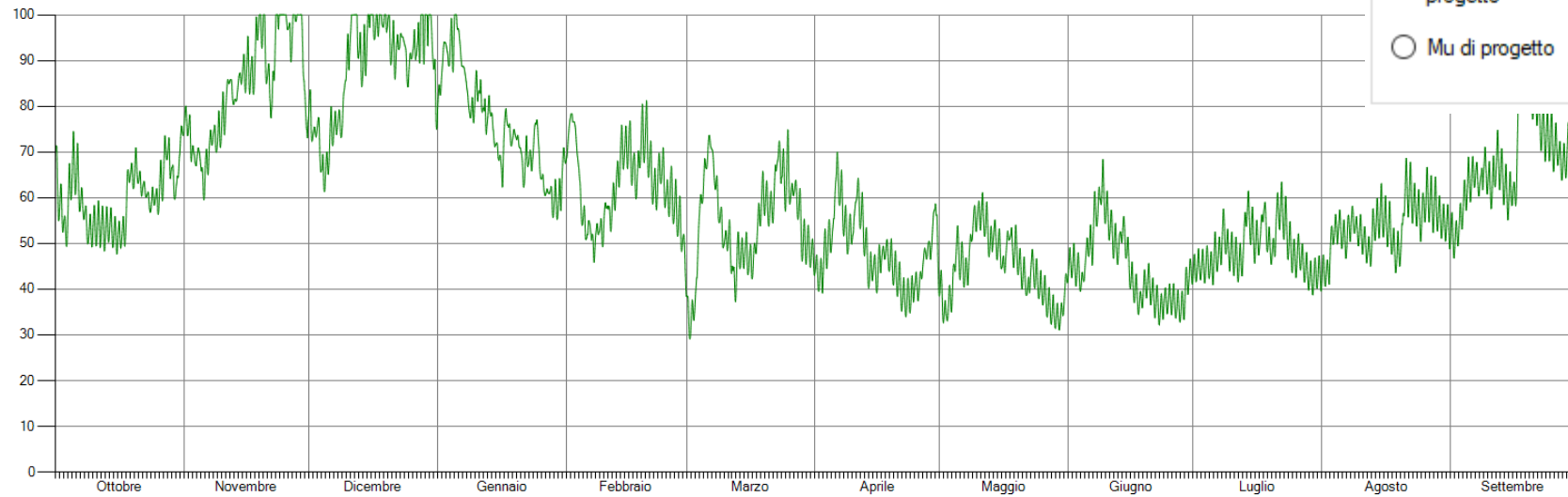


Norme di calcolo

UNI EN 15026 Risultati

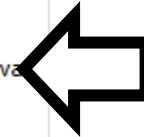
Andamento orario per tutto l'anno dei parametri igrotermici in qualunque posizione della stratigrafia

Umidità relativa [%]

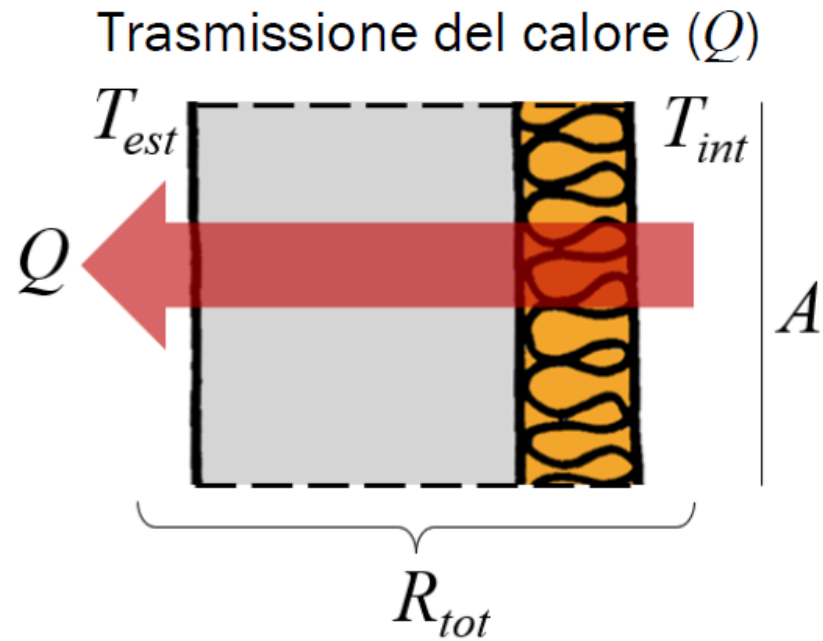


Visualizza

- ☐ Temperatura
- ☐ Flusso
- ☐ Pressione
- ☒ Umidità relativa
- ☐ Contenuto d'acqua
- ☐ Condensa accumulata
- ☐ Lambda di progetto
- ☐ Mu di progetto



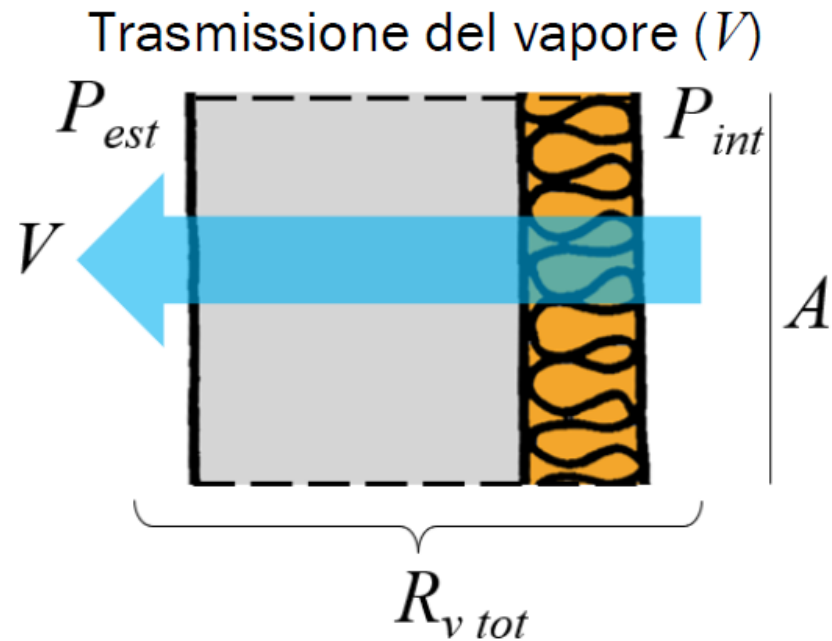
Migrazione del calore e del vapore in regime stazionario



$$Q = (1 / R_{tot}) \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$$



R di materiali omogenei = s / λ



$$V = (1 / R_{v\ tot}) \cdot A \cdot \Delta P \cdot t$$



R al vapore = s / δ

Caratteristiche dei materiali

Qualche definizione:

Permeabilità al vapore (δ) delta

Attitudine di un materiale a trasmettere per diffusione il vapor d'acqua presente nell'aria.

Si misura in kg/msPa

Fattore di resistenza al vapore (μ) mu

Parametro adimensionale definito dal rapporto tra la permeabilità dell'aria e quella del materiale

$$\mu = \delta_{\text{aria}} / \delta_{\text{materiale}} \quad (\delta_{\text{aria}} = 187.52 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa})$$

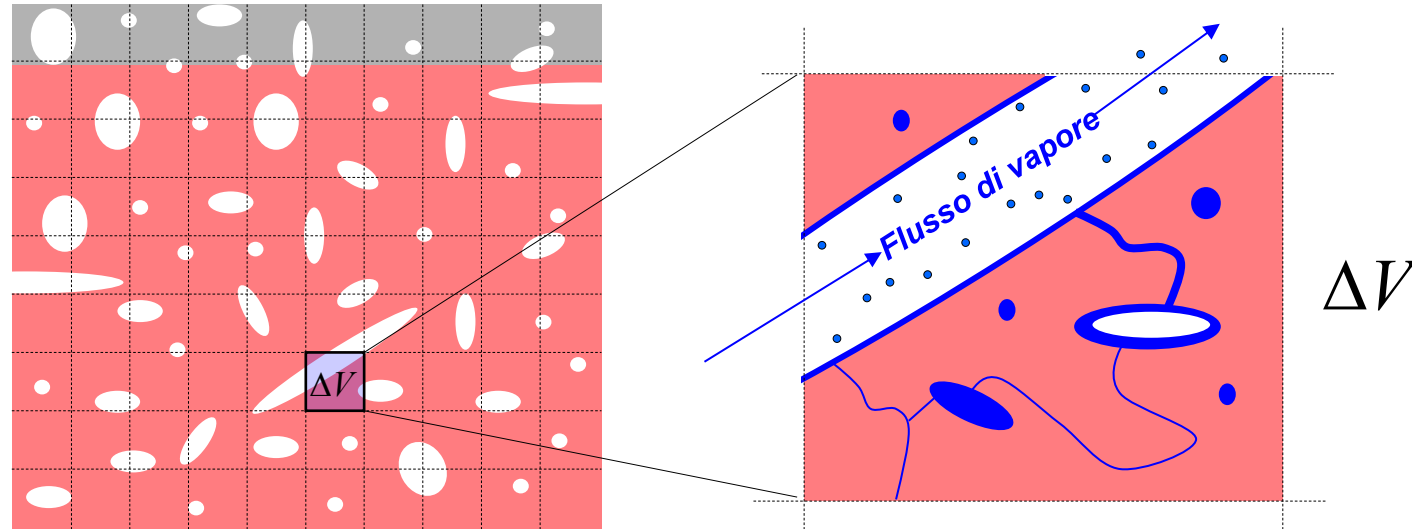
Spessore equivalente d'aria (S_D)

Spessore di uno strato d'aria in quiete avente la stessa resistenza al vapore dello strato di materiale.

$$S_D = \mu \cdot \text{spessore (in metri) del materiale}$$

Caratteristiche dei materiali

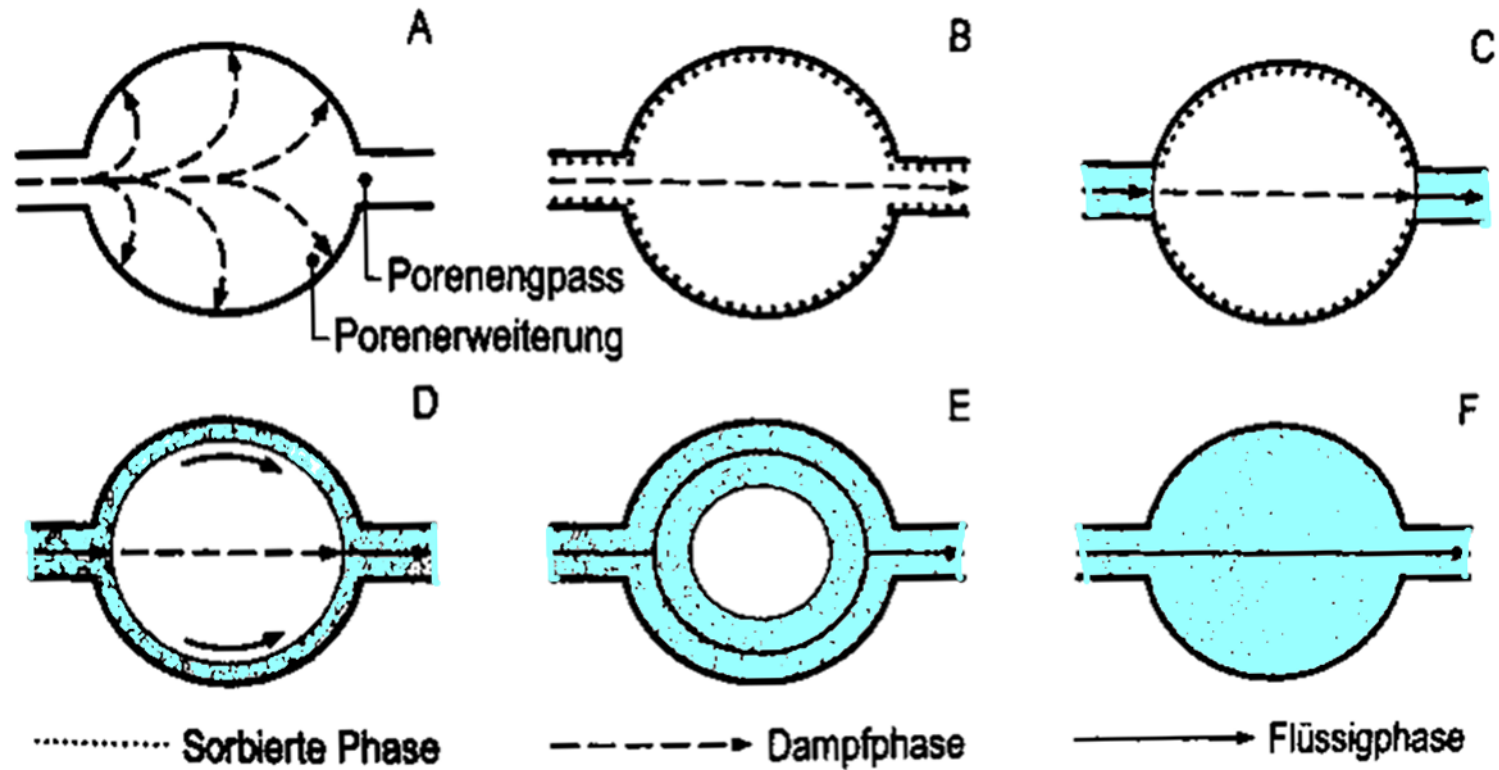
Analisi dei fenomeni su scala microscopica (volume finito ΔV)



Fonte: corso di introduzione a Delphin,
Progetto BuildDOP , Bolzano - Marzo 2018

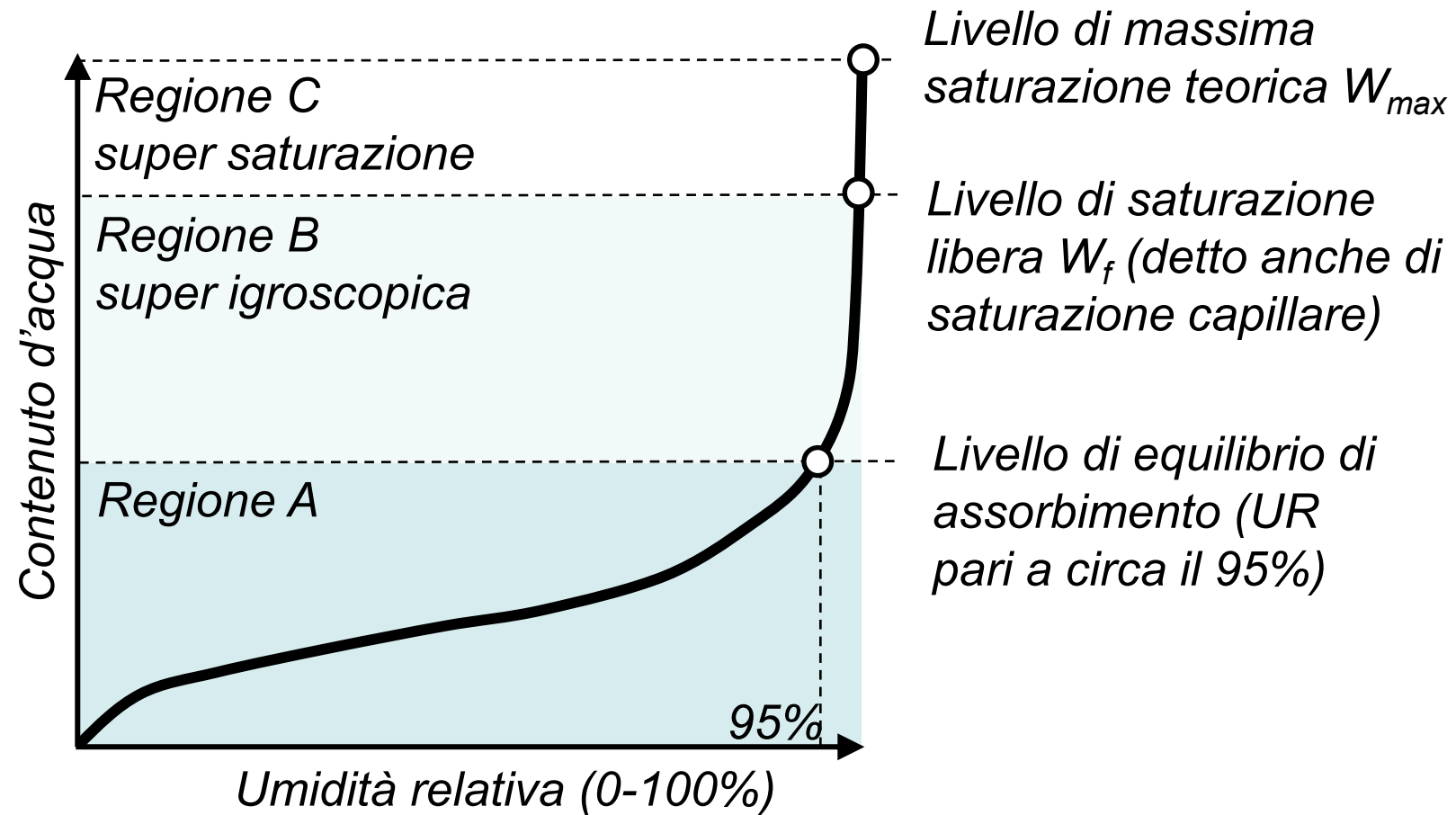
Caratteristiche dei materiali

UNI EN 15026 Metodo di calcolo



Fonte: Lehrbuch der Bauphysik – Springer Ed. 2017

Caratteristiche dei materiali



Caratteristiche dei materiali

- Software dinamico $\rightarrow$ Interroga continuamente il database dei materiali per utilizzare i valori corrispondenti alle condizioni orarie
- Software stazionario $\rightarrow$ Esegue un calcolo senza cambiare le condizioni impostate



WUFI - Risultati: sfruttare il confronto tra più casi

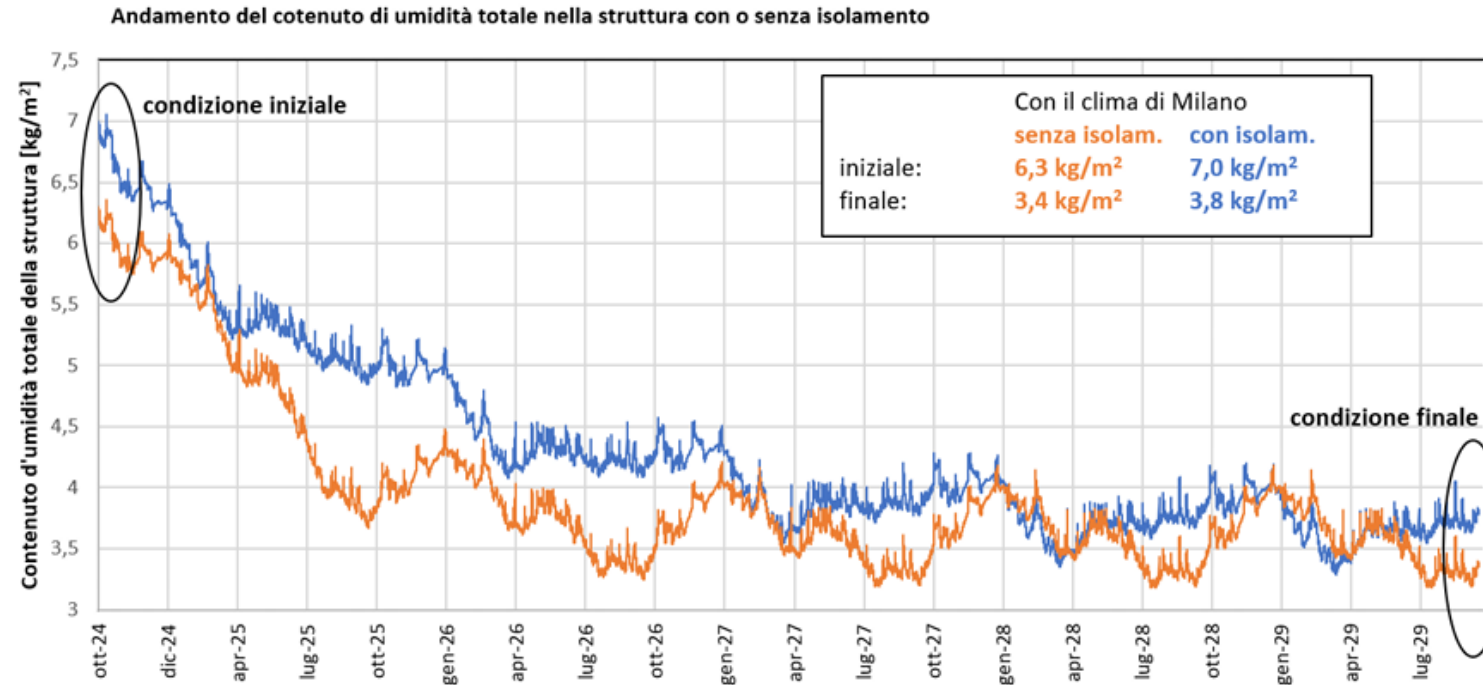


Figura 7. Esempio di una simulazione igrotermica dinamica. Il grafico mostra l'andamento del contenuto d'acqua totale di una parete con e senza isolamento nell'arco di più anni. L'andamento riportato è tipico di una stratigrafia senza problemi igrotermici. Risultati ottenuti con il software WUFI [12].

Fonte: Manuale ANIT «Analisi del rischio di condensazione»



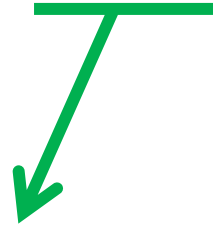
2.

Prestazioni estive

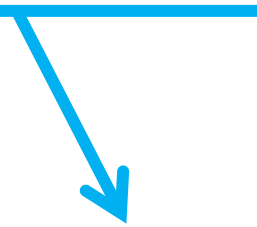
L'analisi energetica in regime
dinamico orario

Cosa cambia con l'analisi energetica dinamica?

Calcolo orario in regime dinamico



Passo di calcolo ridotto

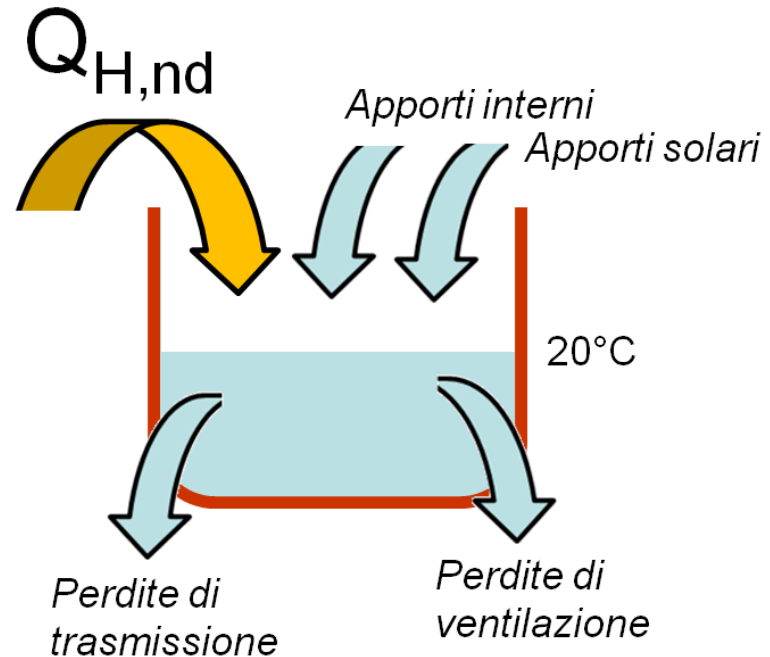


Si analizza l'effetto
dei fenomeni nel
tempo

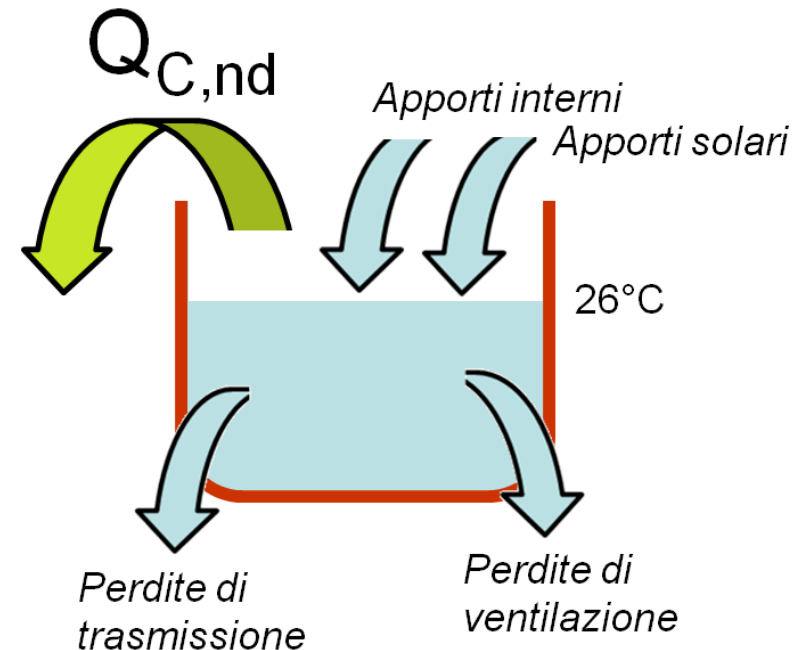
Calcolo mensile semi-stazionario

Il bilancio energetico in accordo con le UNI/TS 11300

Servizio di riscaldamento

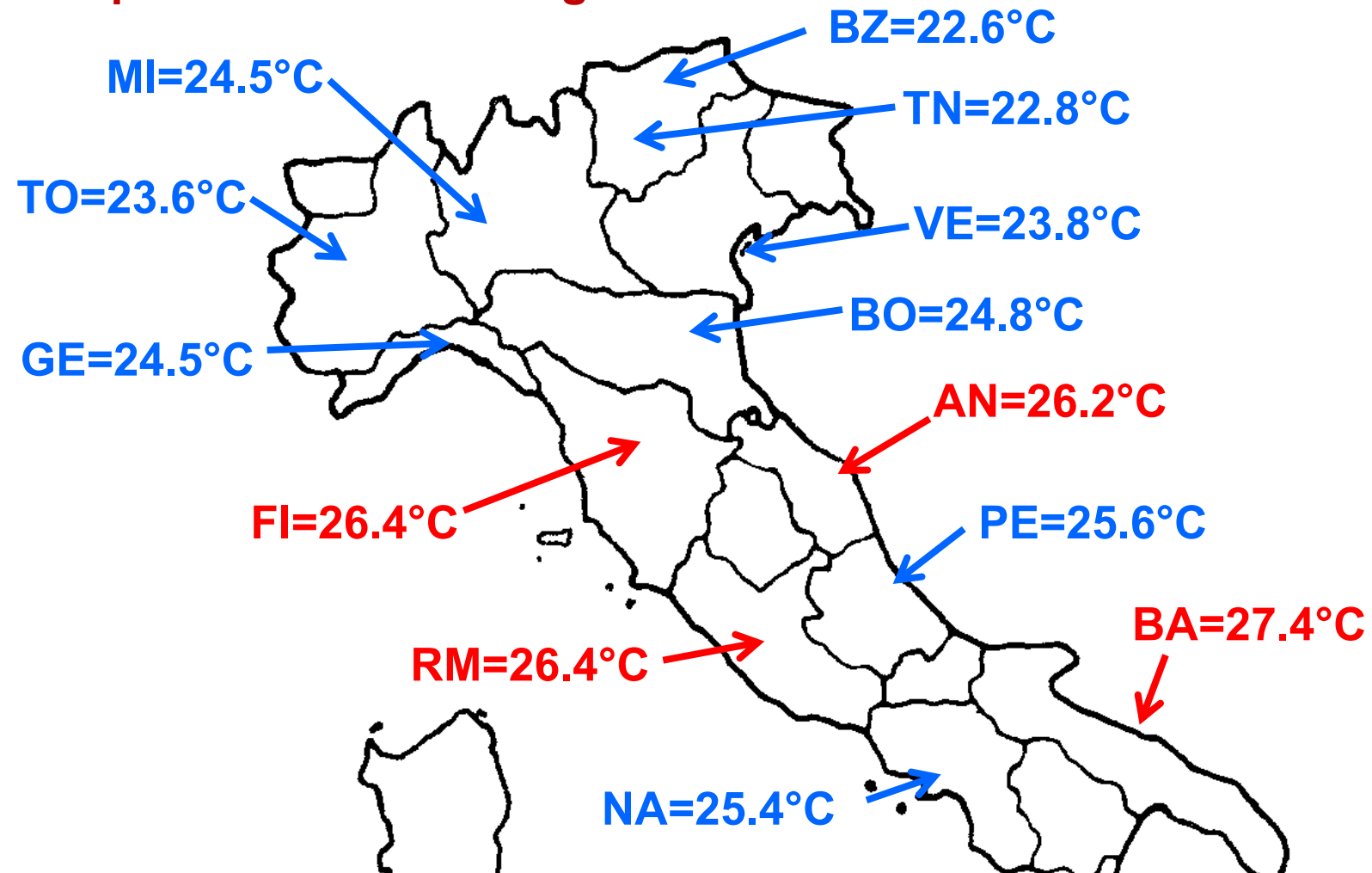


Servizio di raffrescamento

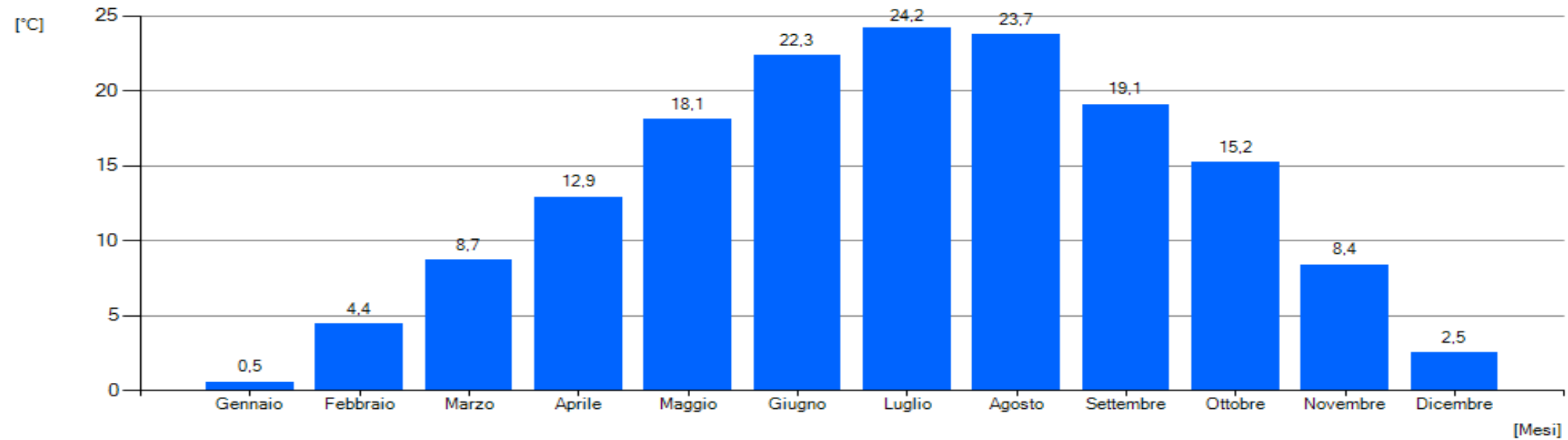


Dati climatici

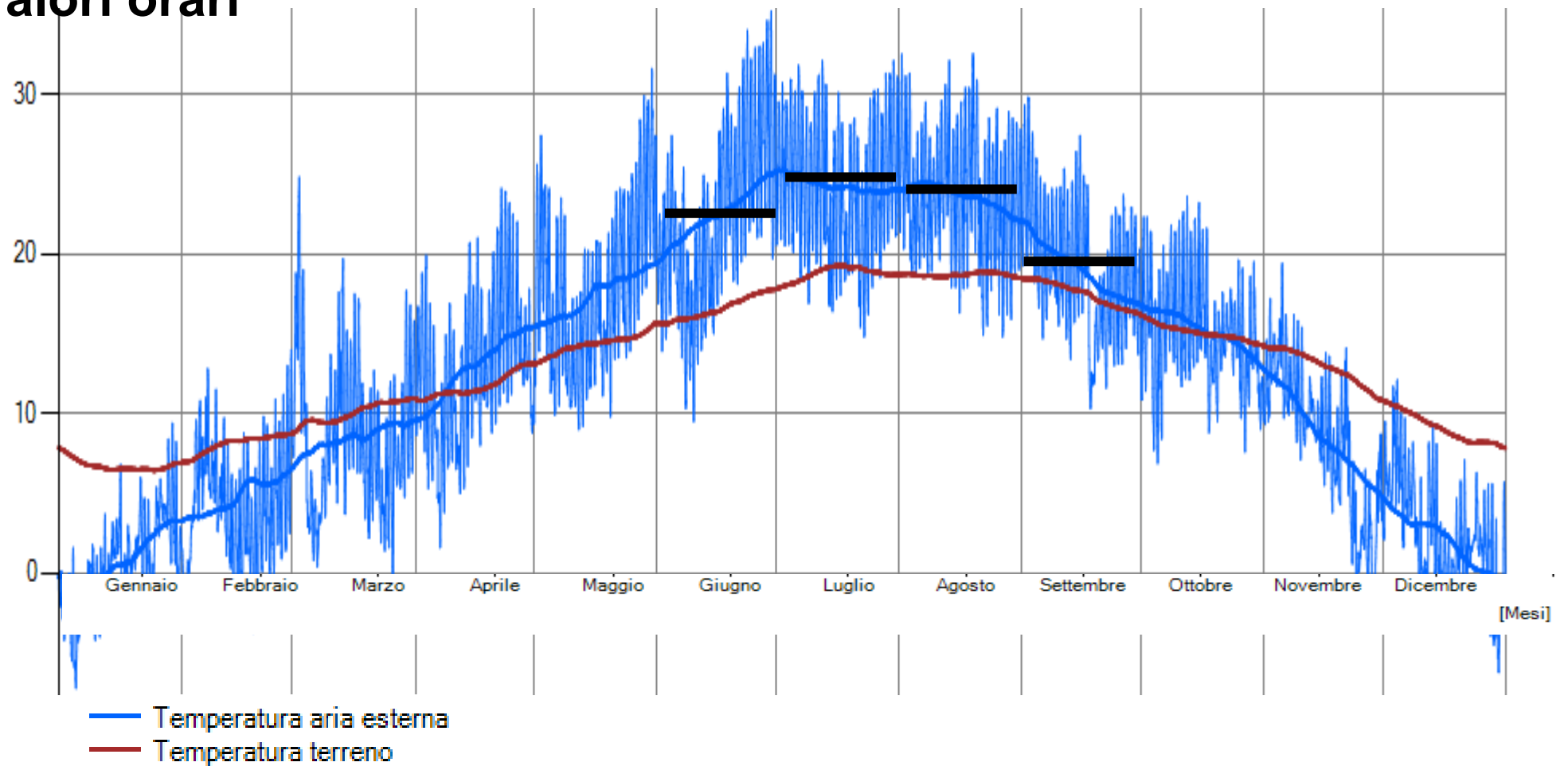
UNI 10349:2016, norma italiana sui dati climatici
Temperatura esterna a luglio:



Dati climatici

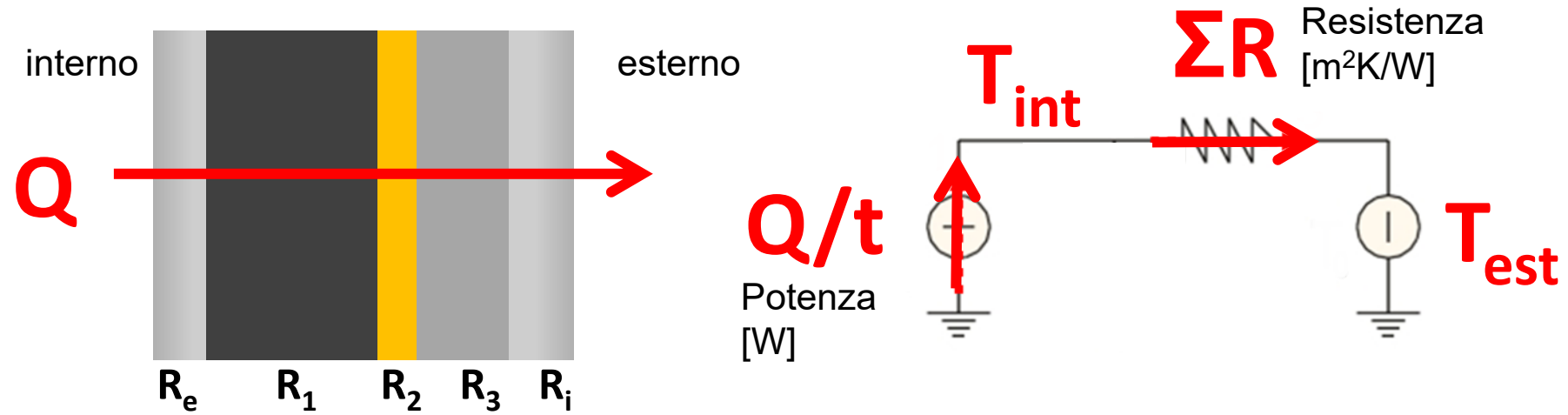
MODENA (UNI 10349/2016)**Valori medi mensili**

Dati climatici

MODENA (UNI 10349/2016)**Valori orari**

Il bilancio energetico delle strutture

In regime stazionario



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

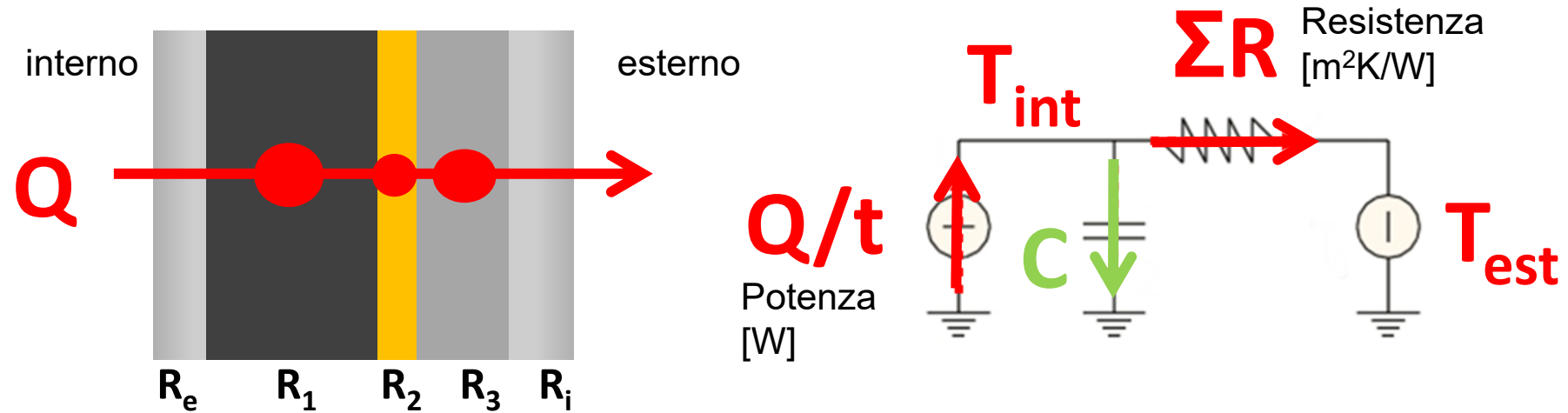
$$Q/t = (A/\Sigma R) \cdot (\Delta T)$$

Potenza
[W]

Resistenze
termiche [m²K/W]

Il bilancio energetico delle strutture

In regime dinamico



Effetto d'accumulo

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

Potenza
[W]

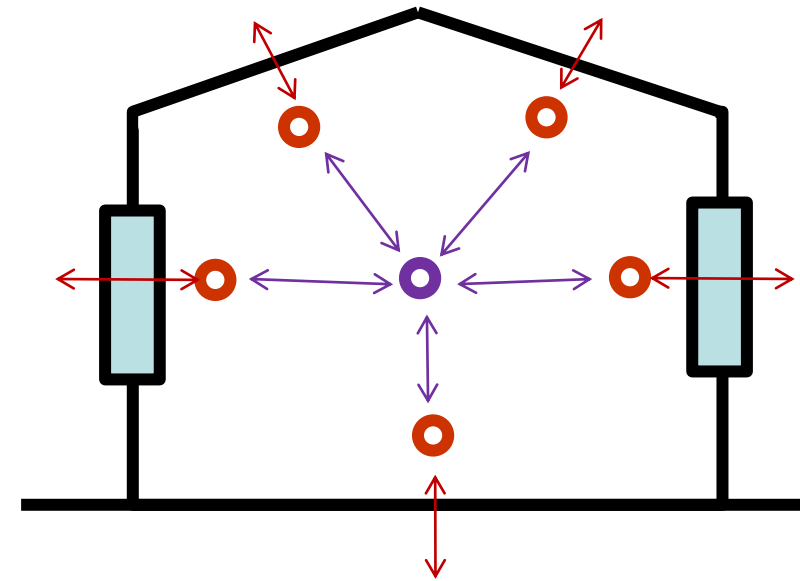
Resistenze
termiche [m²K/W]

Capacità termica
[J/kgK]

Variazione della
temperatura nel tempo [K]

Il calcolo orario in regime dinamico

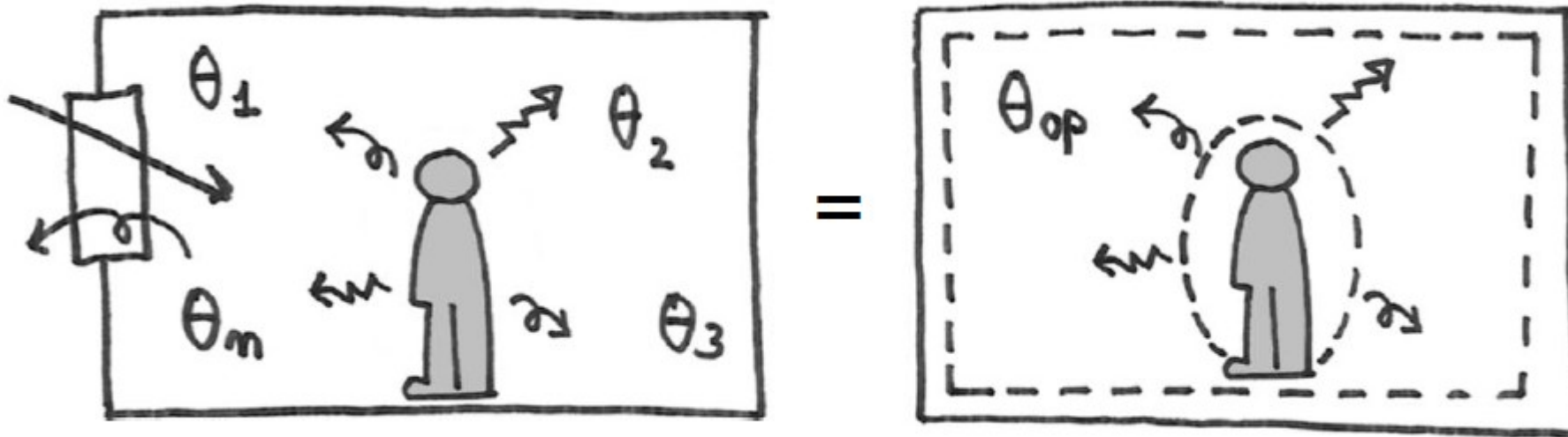
Risoluzione di un sistema lineare
a punti concentrati RC (resistenze-condensatori)



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

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: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 + 4$

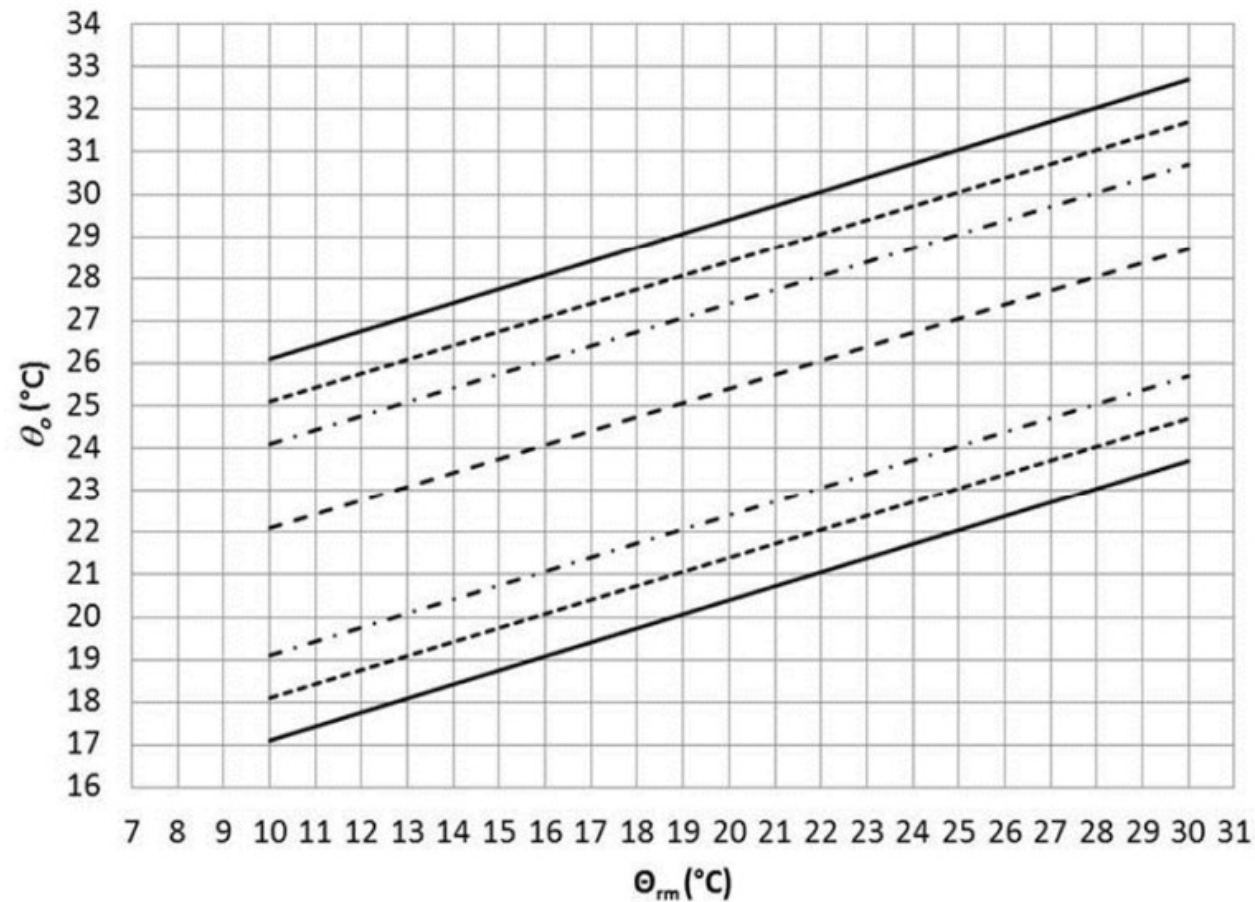
lower limit: $\theta_o = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 - 5$

θ_o = indoor operative temperature, °C

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

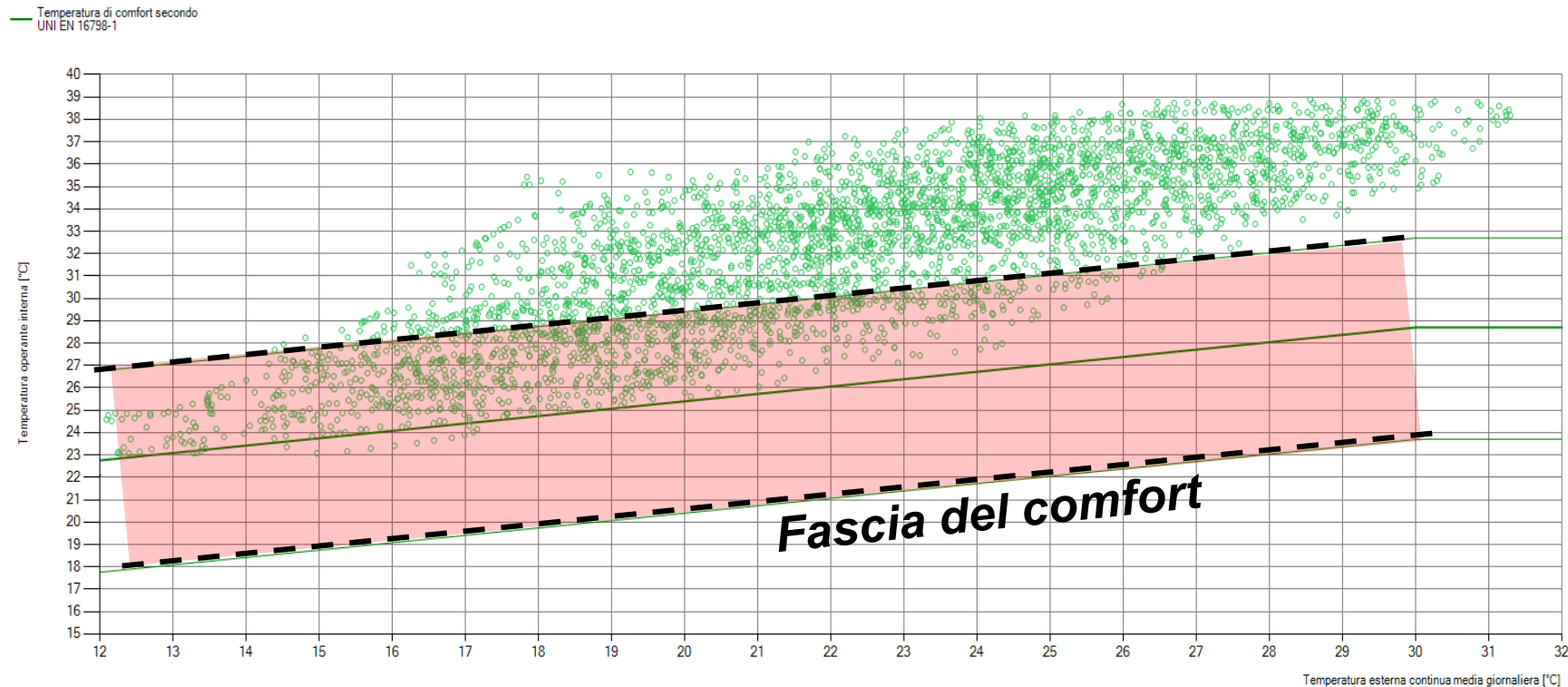
θ_c = Optimal operative temperature, °C

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



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.

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

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 →

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:

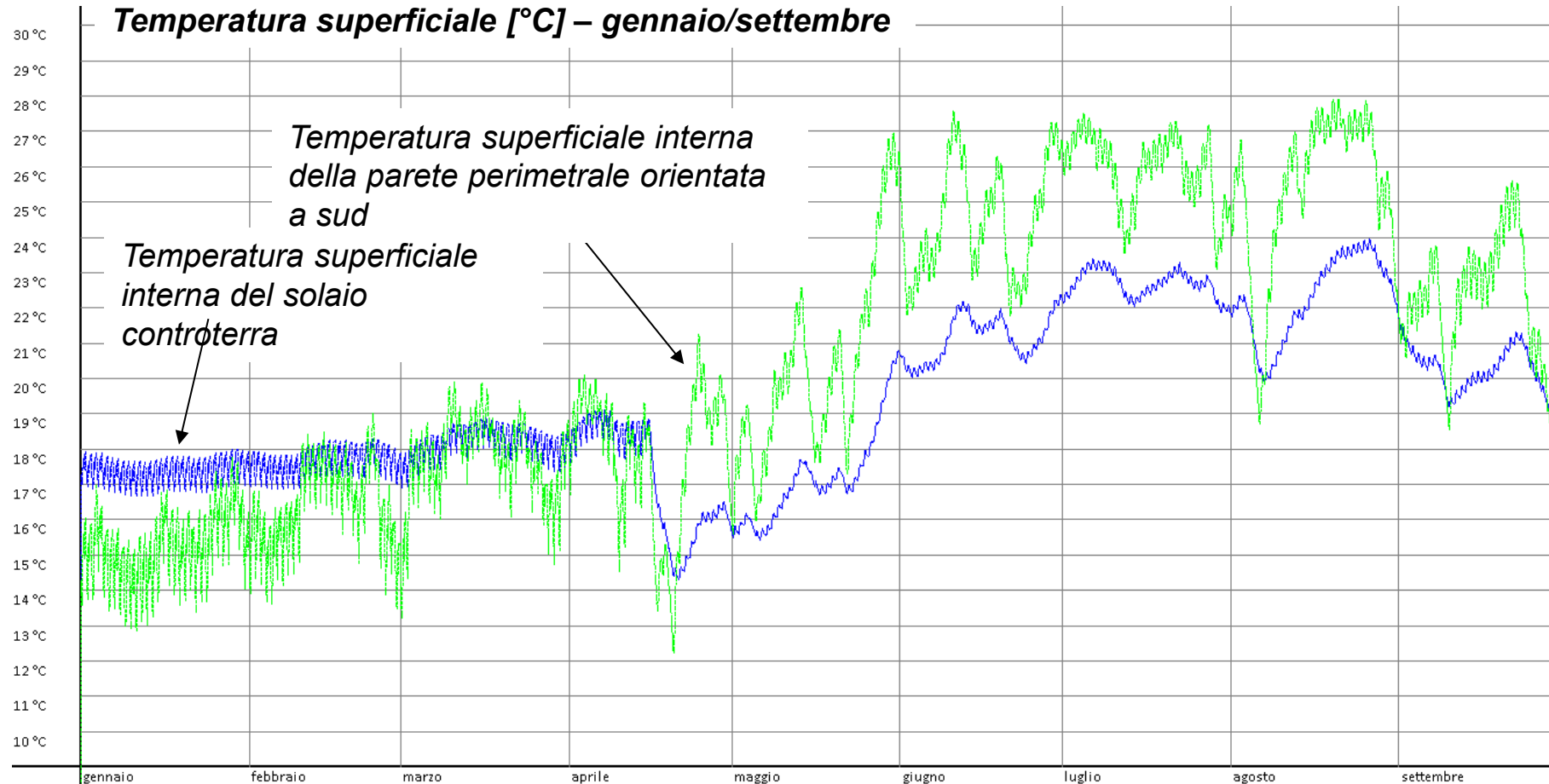
$|\theta_{o,t} - \theta_{rif}| < 4^{\circ}\text{C}$ con un numero di ore di comfort $> 85\%$

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

dove:

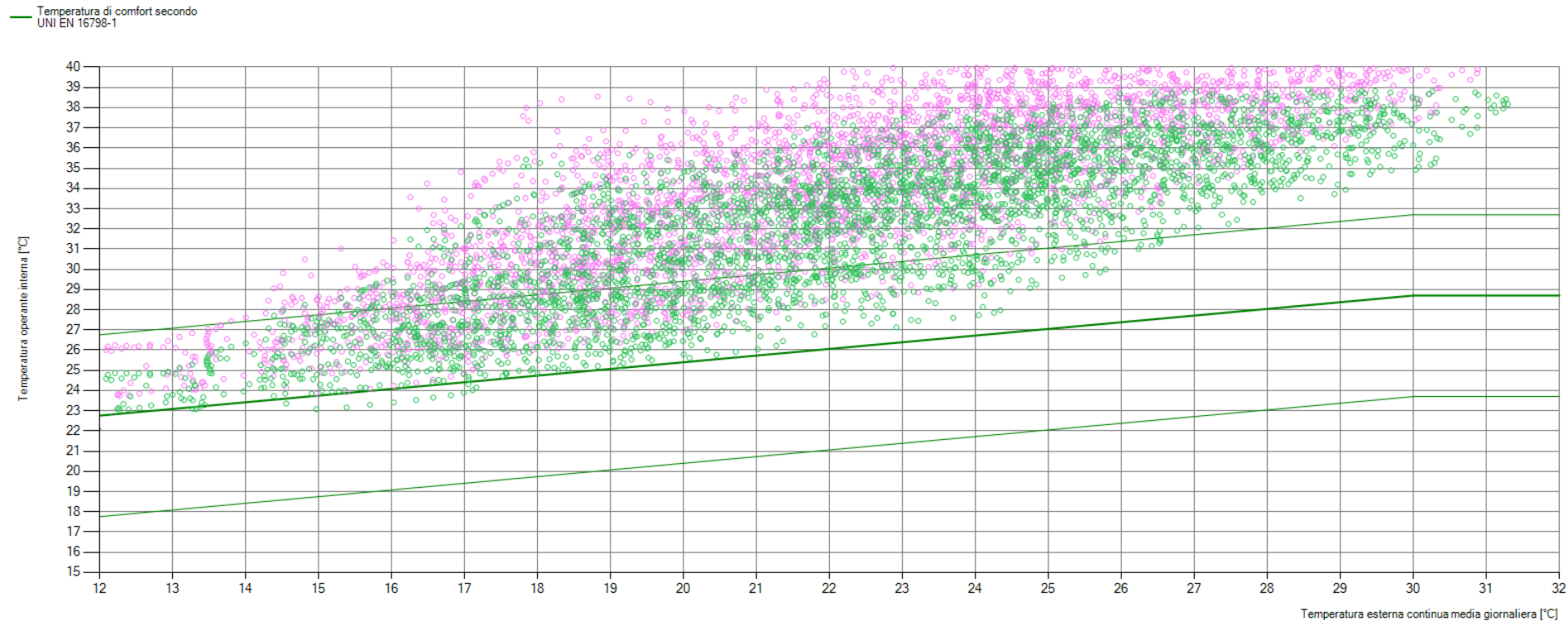
θ_{rm} = temperatura esterna media mobile giornaliera secondo UNI EN 16798-1.

Andamento orario delle temperature



Analisi del comfort adattivo (CAM)

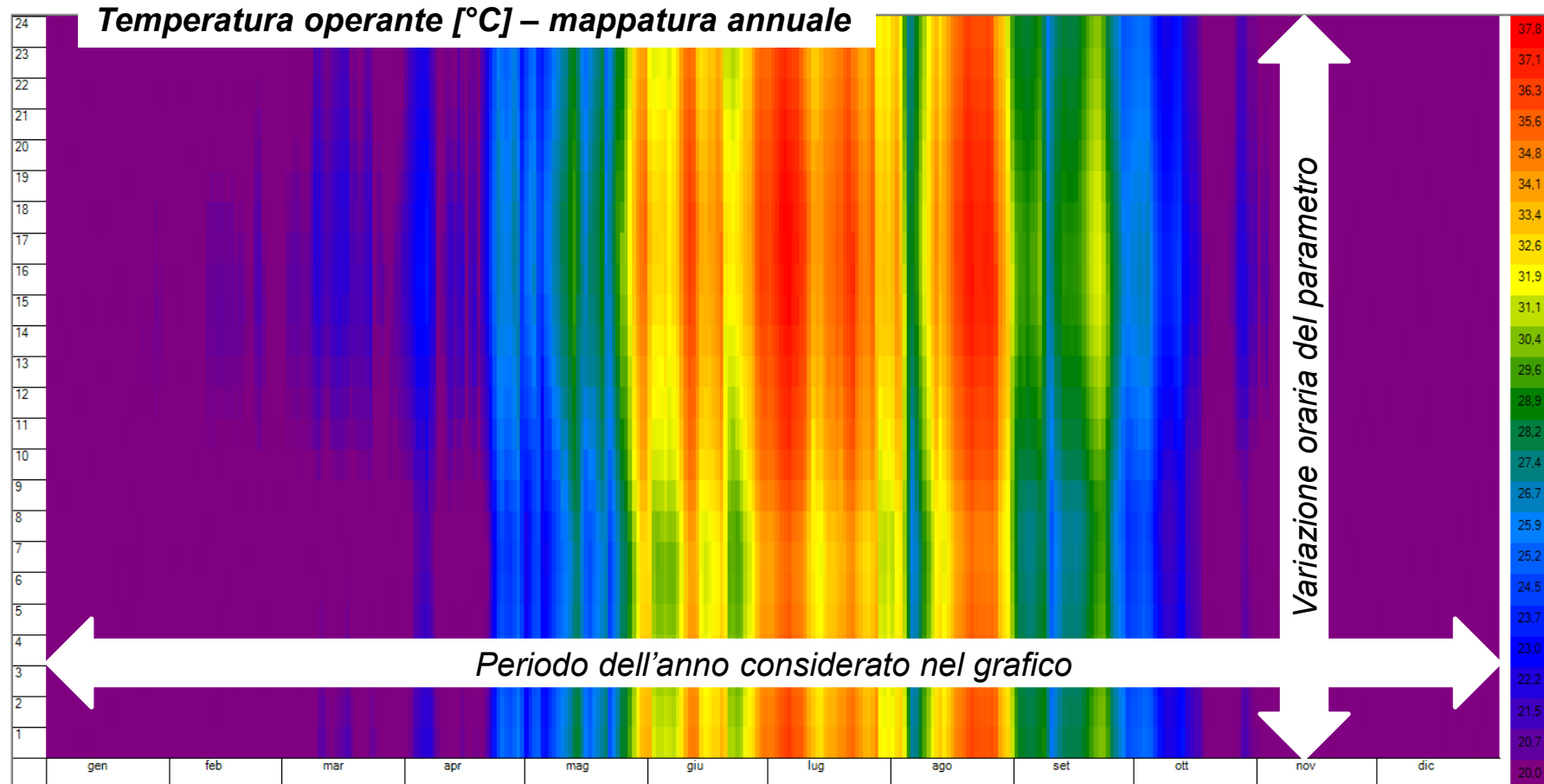
Analisi del comfort adattivo



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

Esempi di risultati

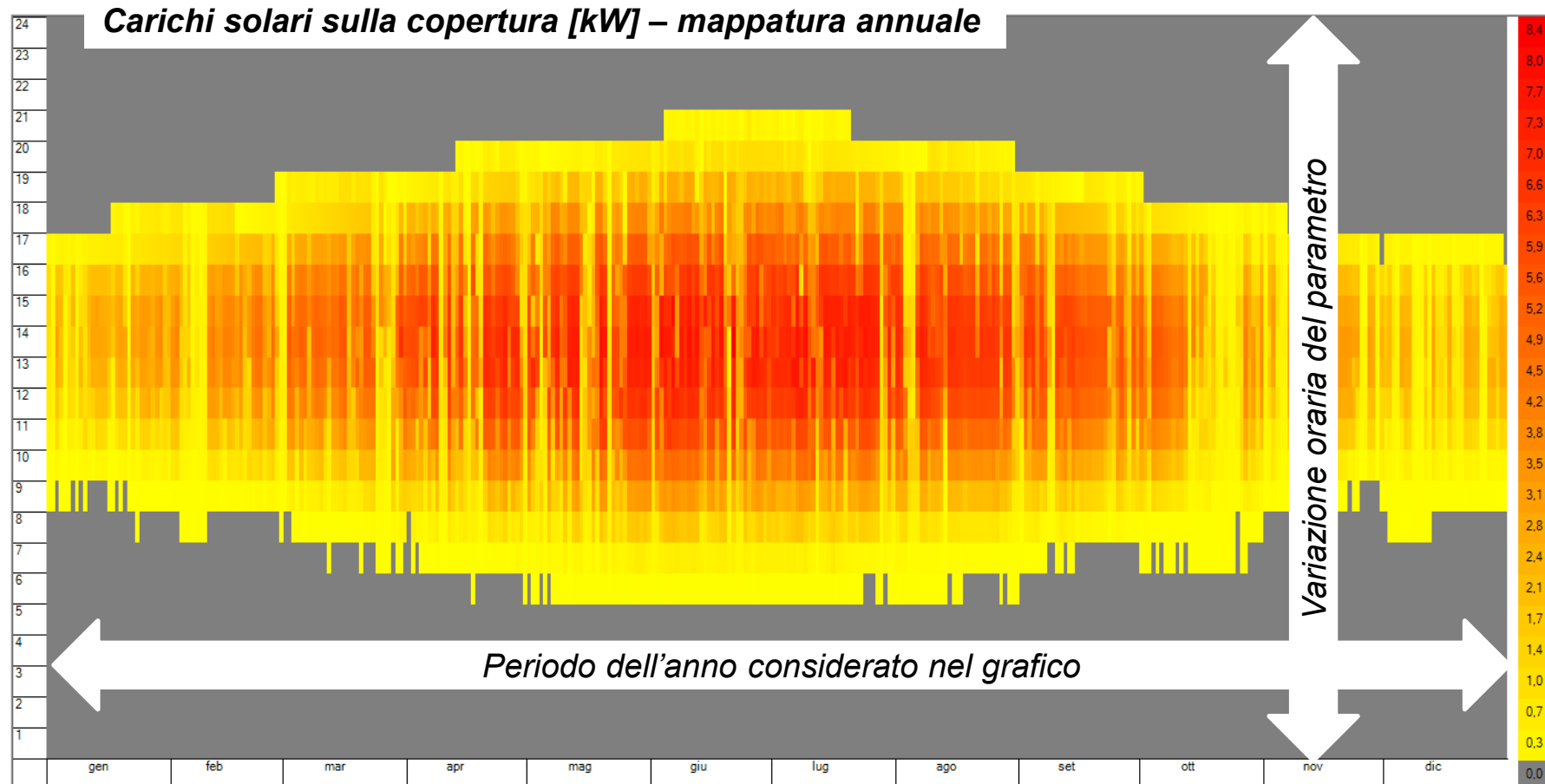
Studio delle mappe annuali di temperatura



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

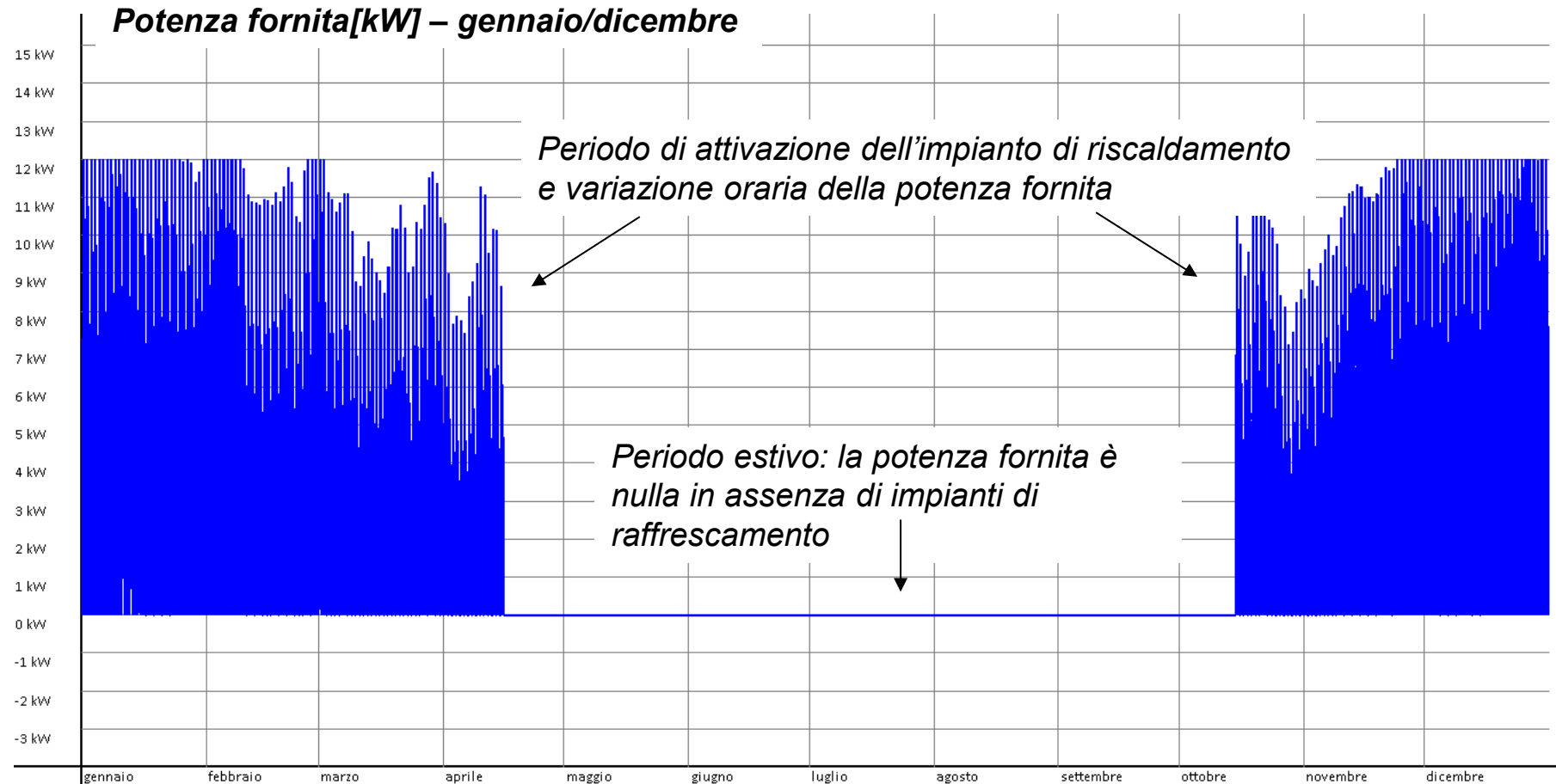
Esempi di risultati

Studio delle mappe annuali dei carichi solari



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

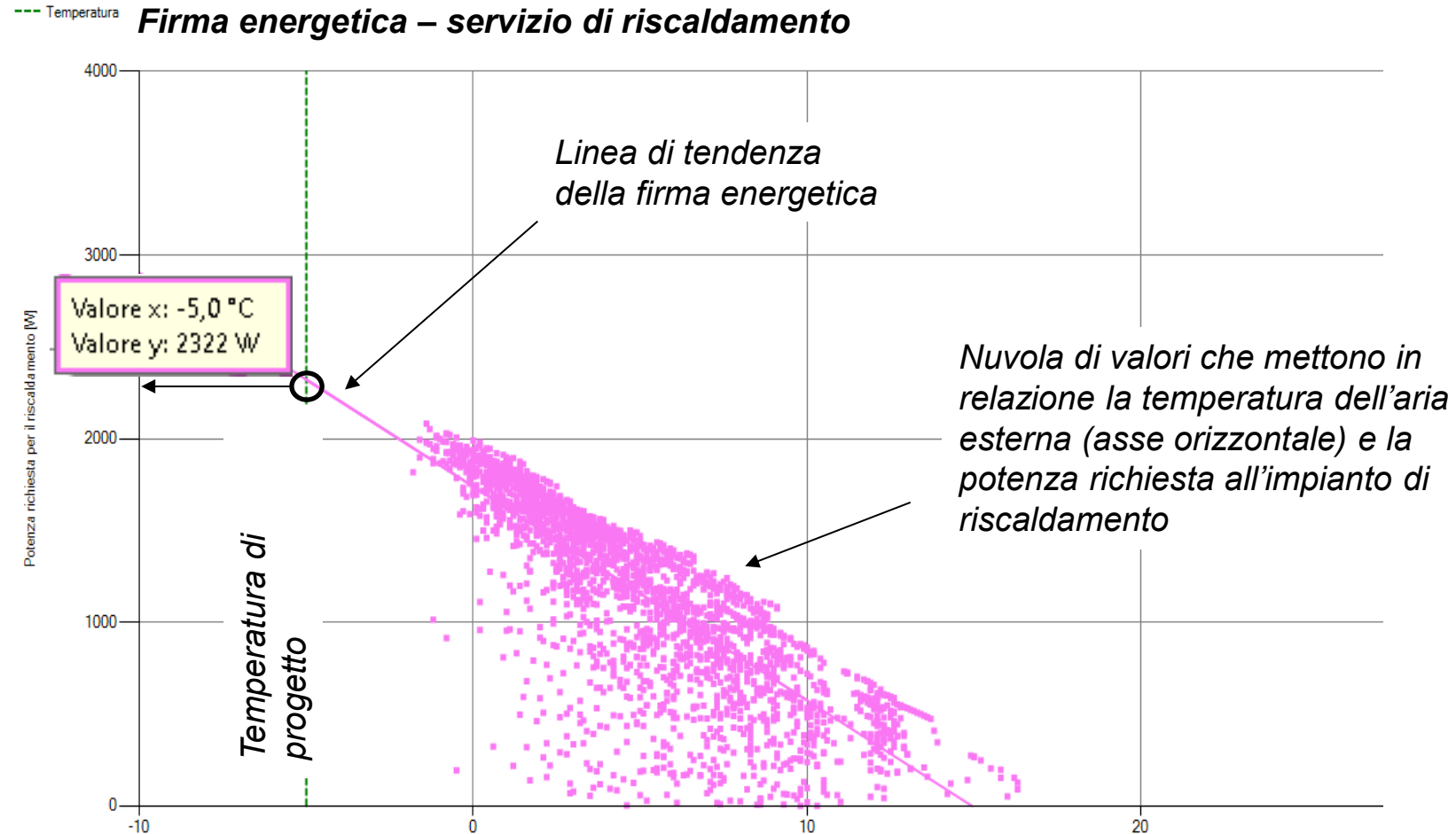
Analisi della potenza richiesta



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

Esempi di risultati

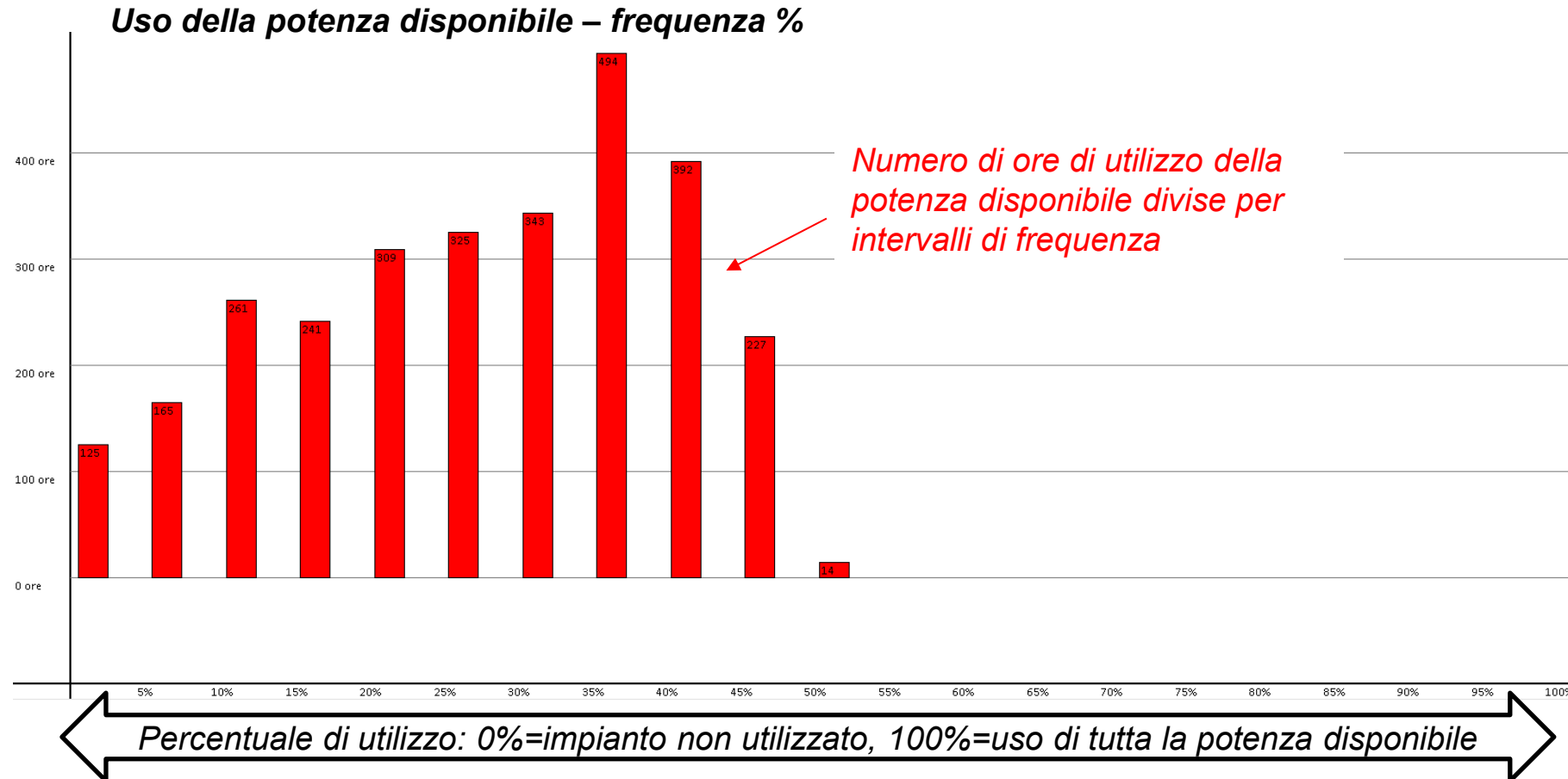
Analisi della firma energetica



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

Esempi di risultati

Valutazione dell'utilizzo della potenza



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

Programma

- 15.00 **Ing. Valeria Erba – ANIT**
Requisiti minimi igrometrici, estivi e invernali secondo le regole della Regione Emilia Romagna
L'approccio alla prestazione nella scelta del materiale isolante.
- 16.00 **Soluzioni tecnologiche**
Dott. Fabio Raggiotto – Stiferite
Le prestazioni del materiale isolante poliuretano
Esempi di stratigrafie: analisi del rischio di condensazione e prestazioni estive
Casi di applicazione e soluzioni tecnologiche

- 17.00 Pausa lavori
- 17.20 **Ing. Giorgio Galbusera – ANIT**
Progettazione del rischio di condensazione interstiziale e del comportamento energetico in regime stazionario e in regime dinamico con anche la capillarità
- 18.20 Dibattito e chiusura lavori





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.