

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI



FACOLTÁ DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA



Laurea in Architettura

DICAAR

IMPIANTI PER LA SOSTENIBILITA' ENERGETICA DEGLI EDIFICI

A.A. 2019-2020

Le condizioni ambientali di comfort adattativo

Docente: ROBERTO RICCIU

Roberto Ricciu: Corso di impianti per la
sostenibilità energetica degli edifici

Le condizioni ambientali di comfort: riferimenti

- [1] Nicol J.F. et al. (1995), **Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century**, Chapman & Hall, London.
- [2] De Dear R.J., Brager G.S., Cooper D. (1997), **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**, ASRAE Final Report RP-884.
- [3] McCartney K.J., Nicol J.F. (2002), **Developing an adaptive algorithm for Europe**, *Energy and Buildings*, 34.
- [4] **ANSI/ASHRAE Standard 55** (2004), Thermal environmental conditions for human occupancy.
- [5] **ISO 7730** (2005), Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [6] Van der Linden A.C. et al. (2006), **Adaptive temperature limits: a new guideline in the Netherlands. A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate**, *Energy and Buildings*, 38.
- [7] **EN 15251** (2007), Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- [8] Manuale degli impianti di climatizzazione, L. Stefanutti, EAN: 9788848118842, ED. Tecniche Nuove: 2008;
- [9] Manuale di progettazione Edilizia, Ed. Hoepli, volume 2, ISBN: 9788820321321
- [10] UNI EN ISO 7726:2002; Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche

Modelli disponibili di definizione del comfort termico:

- **PSICOLOGICO** – di approccio molto soggettivo, presenta problemi nella definizione dei parametri scientifici di riferimento
- **TERMOFISIOLOGICO** – di approccio troppo deterministico, presenta problemi nella semplificazione del processo di calcolo
- **DI EQUILIBRIO TERMICO** – di approccio scientifico semplificato

Modello di equilibrio termico

Il modello con maggior successo è quello di equilibrio termico, elaborato e definito da P.O. Fanger e rappresentato dagli indici PMV e PPD.

Osservazioni:

- al **METODO**, le prove effettuate in camera climatica non possono riprodurre tutte le variabili che influiscono sulle sensazioni termiche
- al **MODELLO**, le sensazioni termiche sono ridotte a semplici aggiustamenti fisiologici e gli esseri umani sono considerati passivi
- alle **GRANDEZZE**, per molte delle variabili non esiste un metodo univoco di misura

Modello adattivo: principio

Il modello adattivo riprende la definizione psicologica di benessere.

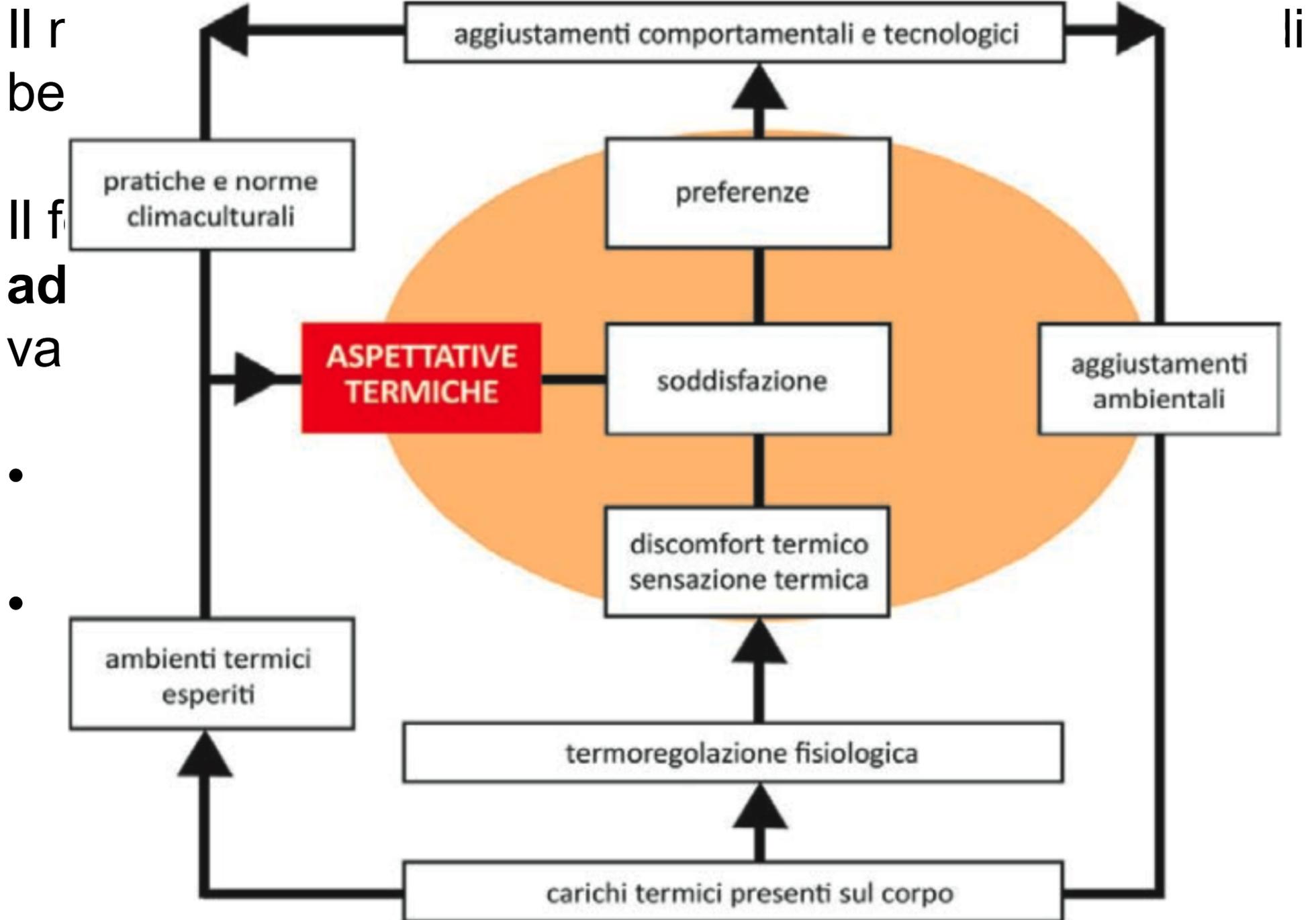
Il fondamento è la capacità degli esseri umani di **adattarsi** all'ambiente in cui si trovano, agendo sulle variabili che li riguardano

- Tipi di adattamento:
 - **COMPORTAMENTALE**
 - **FISIOLOGICO**
 - **PSICOLOGICO**

Modello adattivo: principio

- L'**adattamento comportamentale** è rappresentato dall'insieme di azioni che il soggetto attua al fine di modificare il proprio bilancio energetico (modifica dell'abbigliamento, modifica della propria attività fisica, interagisce con l'impianto di climatizzazione).
- L' **adattamento fisiologico**, in relazione al tempo di permanenza in ambienti caratterizzati da certe condizioni climatiche, comporta una crescente tollerabilità alle stesse.
- Infine l'**adattamento psicologico** attiene al bagaglio delle esperienze vissute e le aspettative che tendono a modificare la percezione degli stimoli e di conseguenza la reazione agli stessi.

Modello adattivo: principio



Modello adattivo: principio

Si è cercato di individuare una correlazione tra le effettive sensazioni termiche e le principali grandezze climatiche, in particolare negli **edifici privi di impianti di climatizzazione meccanica**.

Caratteristiche:

- **METODO**, le prove sono state effettuate sul campo, all'interno di edifici reali, in campagne di misure internazionali di grande estensione
- **GRANDEZZE**, le variabili di riferimento sono climatiche e per ognuna ci sono metodi univoci e consolidati di misura

Modello adattivo: forma

E' stata individuata una correlazione diretta tra la temperatura di comfort interno e la temperatura esterna [Humphreys, Nicol]

$$T_{co} = a \cdot T_{out} + b$$

Dove:

T_{co} è la temperatura interna di comfort

T_{out} è la temperatura esterna di riferimento

a è una costante che rappresenta la **correlazione** tra

T_{co} e T_{out}

b è una costante che rappresenta la temperatura minima accettabile

Modello adattivo: forma

Temperatura esterna di riferimento:

- Temperatura media mensile
- Running mean temperature

$$T_{rm} = 0,8T_{rm,n-1} + 0,2T_{dm,n-1}$$

Rappresenta una combinazione lineare delle temperature medie giornaliere dei giorni precedenti, calcolata giornalmente.

$$T_{rm} = (1-\alpha)\{T_{dm,n-1} + \alpha T_{dm,n-2} + \alpha^2 T_{dm,n-3} + \dots\}$$

d_m = temperatura media giornaliera aria esterna; $\alpha = 0,8$

Fascia di accettabilità

- Da differenza di temperatura calcolata con PPD per

$$\Delta T_{co} = \pm a \text{ [}^\circ \text{C]}, \text{ PPD} = X\%$$

- Come funzione della temperatura interna di comfort

$$\Delta T_{co} = a \cdot T_{co} + b$$

Modello adattivo: equazioni

Equazione ASHRAE [Stati Uniti, DeDear & Brager]

Per gli edifici con ventilazione naturale

Se $T_{out} > 12^\circ \text{ C}$

$$T_{co} = 0,31 \cdot T_{out} + 17,8$$

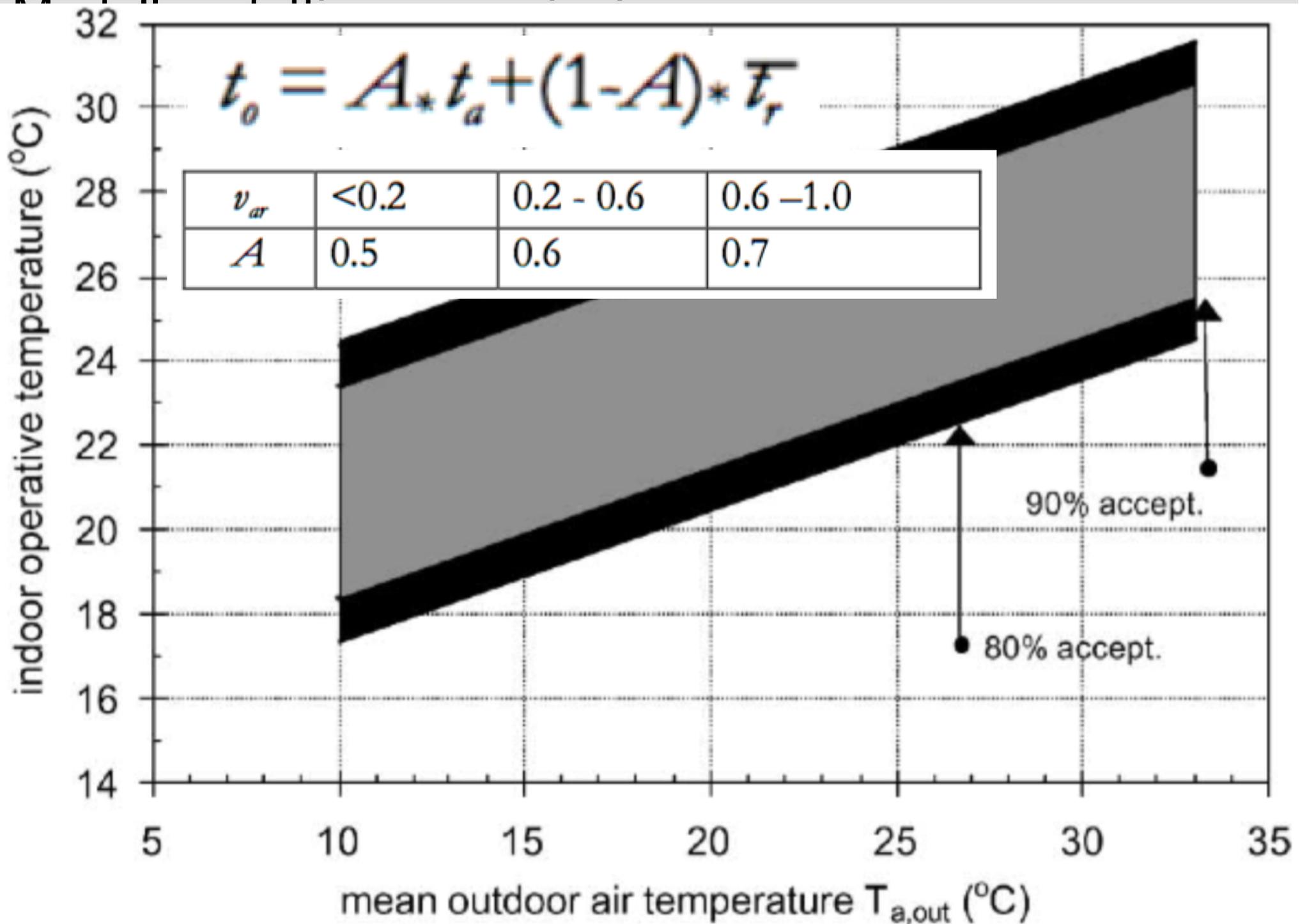
Fascia di accettabilità

per $\Delta T_{co} = \pm 2,5^\circ \text{ C}$, PD=10%

per $\Delta T_{co} = \pm 3,5^\circ \text{ C}$, PD=20%

Temperatura esterna di riferimento

temperatura media mensile



Modello adattivo: equazioni

Equazione ACA [Europa, McCartney & Nicol]

Per $T_{out} > 10^\circ \text{ C}$

$$T_{co} = 0,302 \cdot T_{out} + 19,39$$

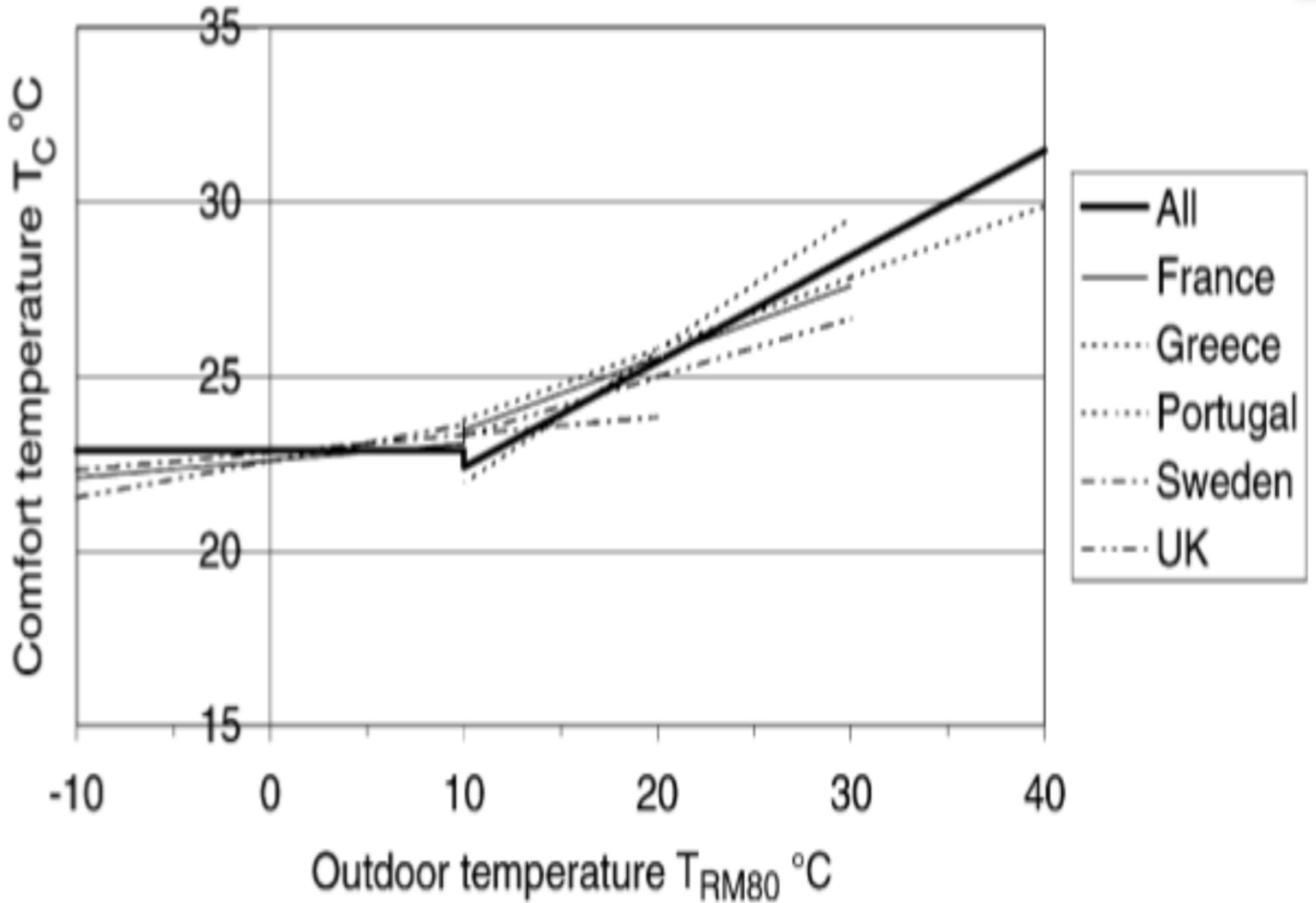
Per $T_{out} < 10^\circ \text{ C}$

$$T_{co} = 22,88$$

Fascia di accettabilità

$$dT = -0,189 \cdot T_{co} + 6,35$$

Temperatura esterna di riferimento
running mean temperature



Modello adattivo: equazioni

Equazione ATL [Paesi Bassi, DeDear & Van der Linden]

Per gli edifici con ventilazione naturale

Se $T_{out} > 12^\circ \text{ C}$

$$T_{co} = 0,31 \cdot T_{out} + 17,8$$

Per gli edifici con climatizzazione

$$T_{co} = 0,11 \cdot T_{out} + 20,2$$

Fascia di accettabilità

per $\Delta T_{co} = \pm 2,5^\circ \text{ C}$, PD=10%

per $\Delta T_{co} = \pm 3,5^\circ \text{ C}$, PD=20%

per $\Delta T_{co} = \pm 4,2^\circ \text{ C}$, PD=35%

Temperatura esterna di riferimento

$$T_{out} = (T_{dm,n} + 0,8T_{dm,n-1} + 0,4T_{dm,n-2} + 0,2T_{dm,n-3}) / 2,4$$

Roberto Piccoli: Corso di impianti per la
sostenibilità energetica degli edifici

Modello adattivo: equazioni

Equazione CEN [Europa]

Per $T_{\text{limite superiore}} > 10^\circ \text{ C}$

Per $T_{\text{limite inferiore}} > 15^\circ \text{ C}$

$$T_{co} = 0,33 \cdot T_{out} + 18,8$$

Fascia di accettabilità

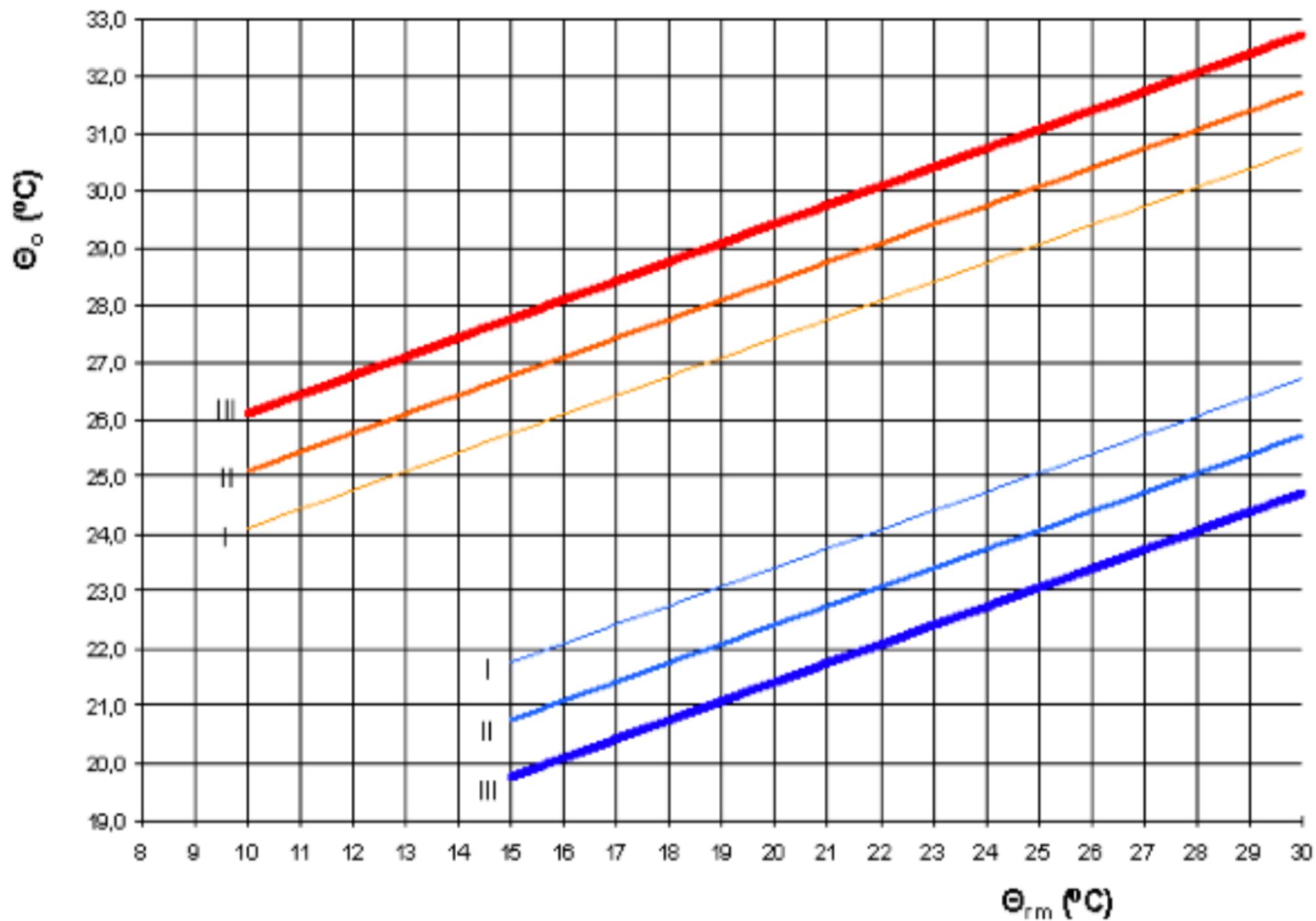
per $\Delta T_{co} = \pm 2^\circ \text{ C}$, Categoria I

per $\Delta T_{co} = \pm 3^\circ \text{ C}$, Categoria II

per $\Delta T_{co} = \pm 4^\circ \text{ C}$, Categoria III

Temperatura esterna di riferimento

running mean temperature



Modello adattivo: questioni in sospeso

LIMITI DI APPLICABILITÀ IN BASE ALLA DOTAZIONE IMPIANTISTICA

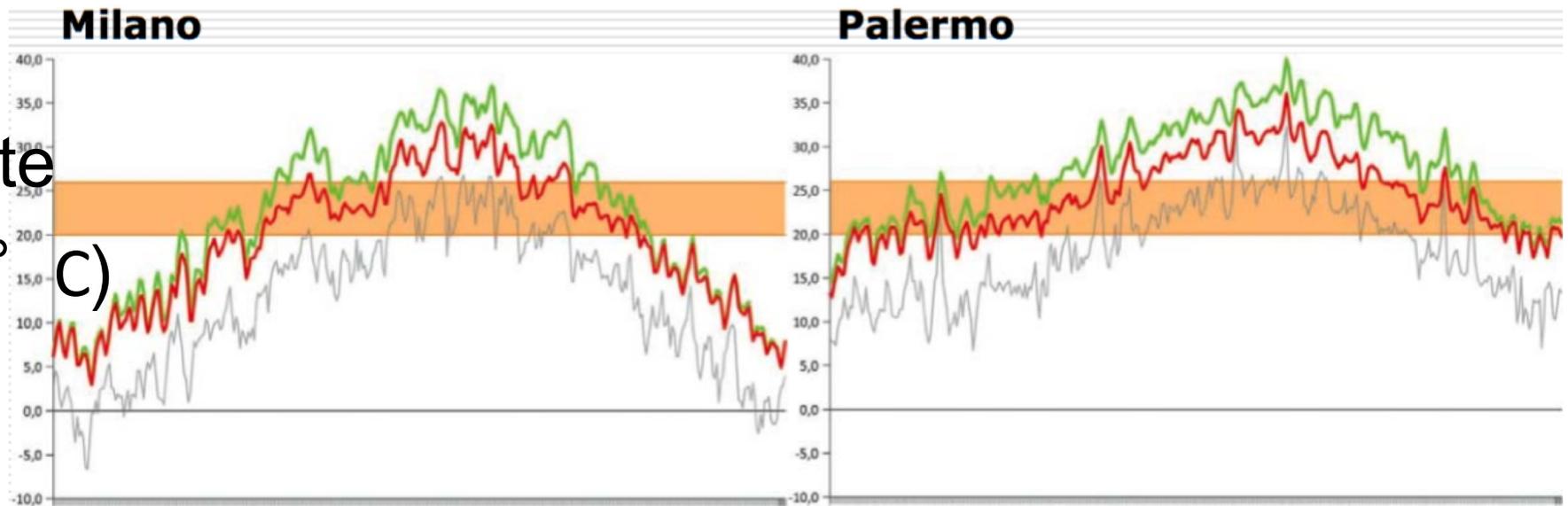
- presenza un impianto di climatizzazione estivo o invernale
- presenza un sistema di ventilazione meccanica
- possibilità di apertura delle finestre da parte dell'utenza

ALTRE VARIABILI

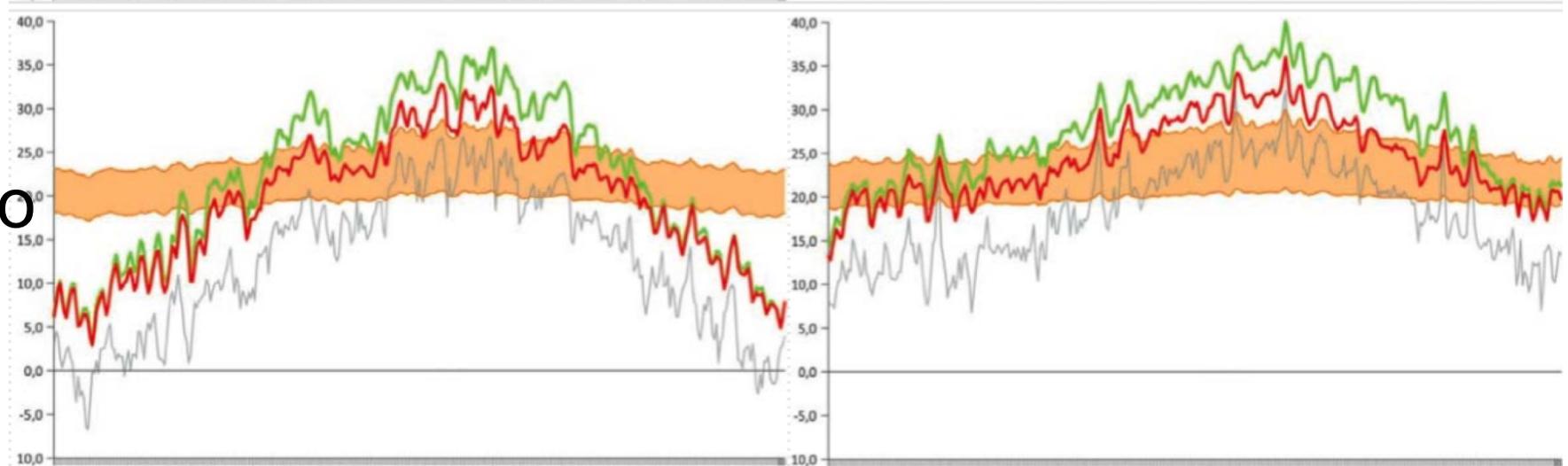
- umidità relativa (alta umidità riduce la fascia di accettabilità)
- velocità dell'aria (per $v_a > 0,1$ m/s, $T_{co}^* = T_{co} + 7 - [50 / (4 + 10v_a^{0,5})]$)
- radiazione solare

Modello adattivo: andamento annuale limiti

Pratica
Corrente
(20-26° C)



Limite
Adattivo
(ATL)



— edificio in versione base

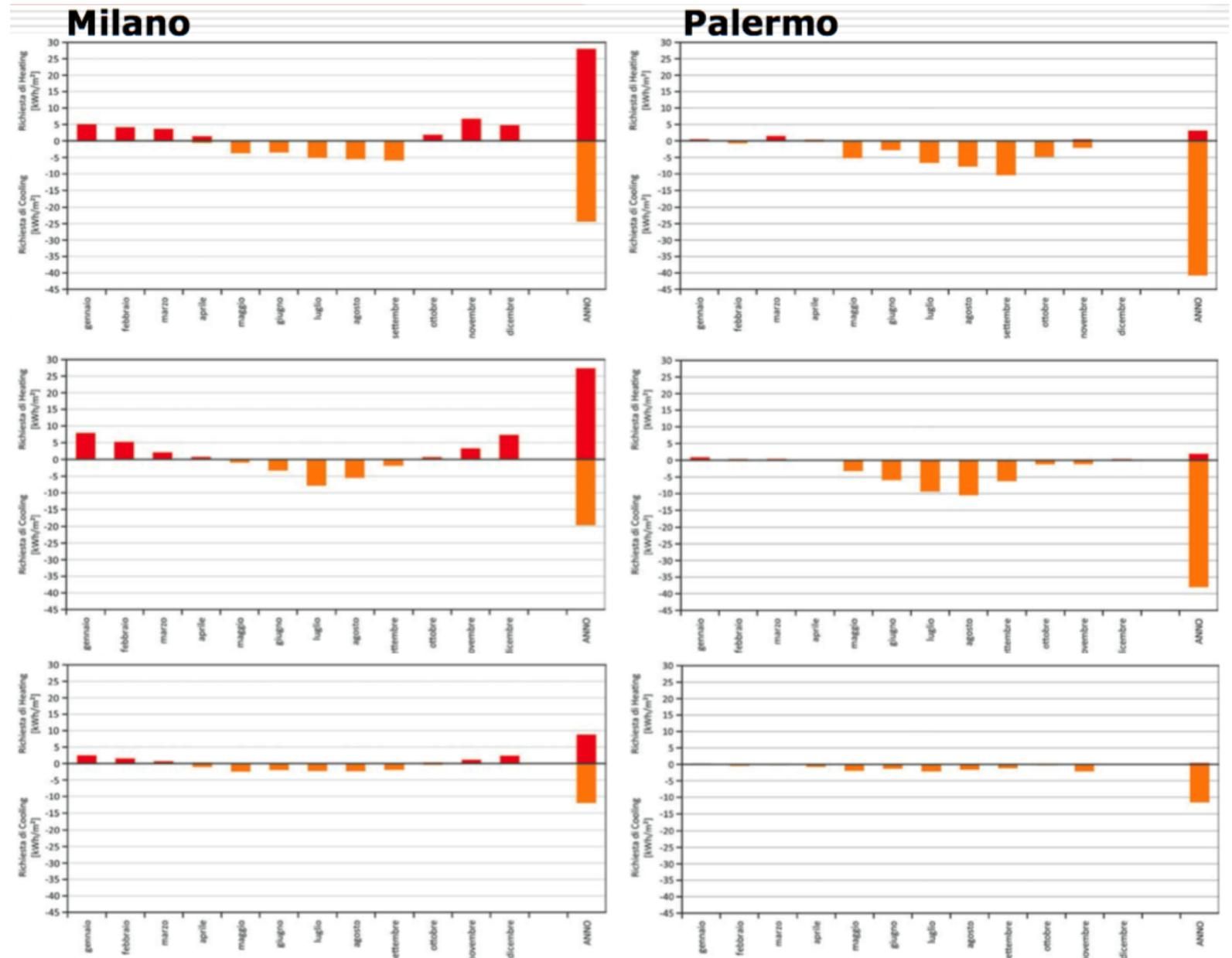
— edificio con strategie di
raffrescamento passivo

Modello adattivo: fabbisogni correlati

Limite
statico
(PPD<10%)

Pratica
Corrente
(20-26° C)

Limite
Adattivo
(ASHRAE)



Il modello adattivo ha dimostrato di poter tenere in maggiore considerazione:

- la variabilità delle condizioni climatiche
- le strategie passive di controllo ambientale
- la capacità dell'utenza di agire direttamente sulle variabili ambientali

Inoltre, ad una variazione dei fabbisogni di climatizzazione corrispondono possibili risparmi:

- di risorse
- economici
- ambientali

Durante l'ultimo decennio sono stati attivati diversi gruppi di ricerca al fine di sviluppare standard su base adattiva per implementare le norme sulla determinazione delle condizioni di comfort per gli ambienti interni:

- **ASHRAE (USA)** – Standard 55 (2004)
- **CEN (Europa)** – norma EN 15251 (2007)
- **CTI (Italia)**

Possibili campi di applicazione dell'approccio adattivo:

- **PROGETTUALE**, come strumento d'aiuto per le scelte del progettista
- **NORMATIVA**, per la determinazione di condizioni più restrittive all'installazione degli impianti di climatizzazione
- **DI GESTIONE IMPIANTISTICA**, per la determinazione delle temperature di setpoint per il funzionamento degli impianti di climatizzazione

FINE