

18 OTTOBRE 2021

#5 RUBRICA:
GLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI NZEB

DALLA TEORIA ALLA PRATICA

Dott. Ing. Michele Vio



Rubrica: Gli impianti negli edifici NZEB: dalla teoria alla pratica

Progettazione di un edificio NZEB -

Influenza della temperatura degli ambienti occupati

L'articolo precedente dimostra come sia sempre necessario consumare energia per climatizzare un ambiente e quindi, per minimizzare il consumo di energia bisogna minimizzare il consumo degli edifici nel rispetto delle condizioni di benessere termico.

Di conseguenza, per imparare a risparmiare energia, sarebbe necessario prima di tutto comprendere quali parametri influenzano il nostro benessere termico. Per far questo bisognerebbe educare da un lato il progettista architettonico, per mostrare le influenze dell'isolamento e delle superfici vetrate sui parametri di comfort termico all'interno dell'ambiente occupato (sarà tema di prossimi articoli), dall'altro l'utente finale per comprendere come il consumo energetico, e quindi i costi di gestione, siano fortemente influenzati dai parametri di controllo ambientale, in particolare temperatura e umidità dell'aria in ambiente.

Gli impianti nella realtà quotidiana

A qualunque norma si rifaccia il progettista, nella realtà quotidiana tutti gli impianti sono quasi sempre surdimensionati. Il motivo è molto semplice: il progetto viene eseguito in condizioni raramente verificate nel corso del tempo, se non per poche ore all'anno e non tutti gli anni. Inoltre, è sempre corretto assicurare un minimo di ridondanza ai generatori e ai terminali degli impianti.

Facendo un esempio automobilistico, il motore dell'automobile ha una potenza molto maggiore di quella normalmente necessaria e serve solo in condizioni estreme, come un sorpasso. Per questo motivo sta al guidatore rispettare i limiti e guidare in modo corretto per consumare poco.

Analogamente, nessuno può vietare all'utente finale di un impianto di mantenere condizioni termoigrometriche poco consone al risparmio energetico: banalmente temperatura e umidità dell'aria negli ambienti occupati troppo elevate in inverno e troppo basse in estate.

E' dovere del progettista far comprendere quale siano le conseguenze dal punto di vista dei consumi.

Uso dei simulatori dinamici

Il consumo dell'energia è fortemente influenzata dalla struttura dell'edificio, in particolare dal livello di isolamento termico, dalla percentuale e dalla tipologia delle superfici trasparenti e dalla presenza di schermi esterni. Questo tema sarà trattato nei prossimi articoli; qui ci si limita a definire gli strumenti da utilizzare e la procedura da seguire per valutare il variare dei consumi energetici al variare della temperatura degli ambienti occupati.

Relativamente all'umidità relativa dell'aria, questa influisce molto poco sul valore della sensazione termica negli ambienti moderati, come dimostrò Fanger nei propri studi, il che giustifica la nuova tendenza delle norme europee di richiedere scarsa umidificazione in inverno (UR in ambiente 40% massimo) e altrettanto scarsa deumidificazione in estate (UR in ambiente 55% minimo). In questo articolo si usano proprio tali valori come set-point. In un prossimo articolo dedicato alla regolazione degli impianti sia ad aria primaria che a tutta aria VAV verranno evidenziati meglio i risparmi rispetto ai tradizionali 45% invernale e 50% estivo.

Per il calcolo aiutano molto i simulatori dinamici, in grado di simulare su un anno medio tipo il fabbisogno degli ambienti dell'edificio, quelli richiesti dall'aria di rinnovo e, in fine i carichi termici richiesti ai generatori per tutte le 8760 ore dell'anno.

Nelle prossime figure si fa un esempio di un edificio per uffici per una società di trading (quindi aperti 24 ore al giorno per seguire tutte le borse), a Milano. L'isolamento termico è quello di legge previsto nel 2010. Non hanno importanza le altre caratteristiche dell'edificio, perché, come detto, l'influenza di queste saranno trattate nei prossimi articoli. Importa il metodo.

Nella Figura 1 sono riportati i fabbisogni termici orari richiesti dagli ambienti occupati, esclusi quelli relativi all'aria di rinnovo nel corso dell'anno con temperature dell'aria diverse. Come si può notare, il mantenimento di una temperatura pari a 23 °C, costante per tutto l'anno, richiede un fabbisogno maggiore sia in riscaldamento che in raffreddamento.

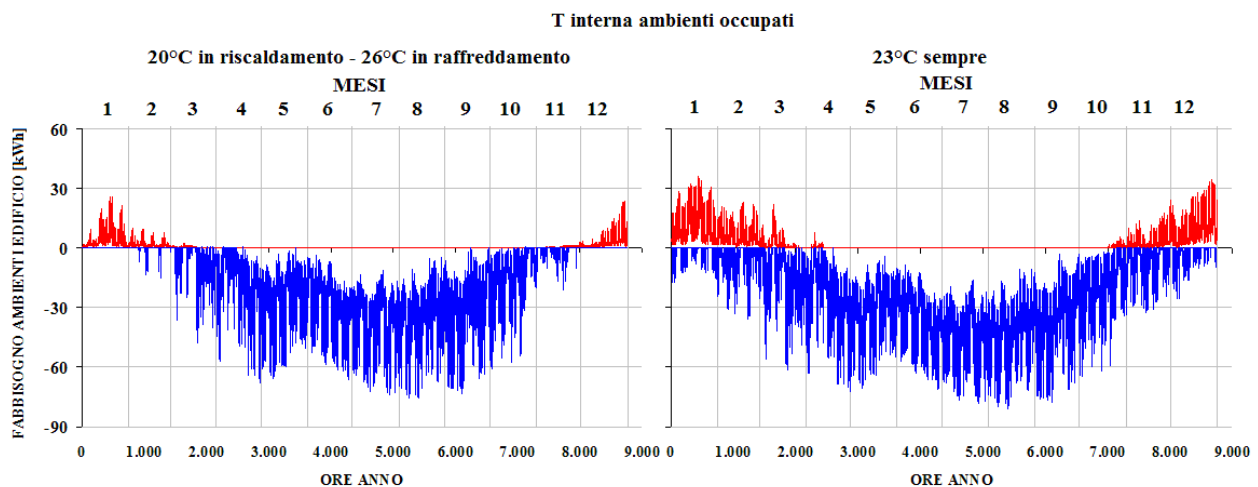


Figura 1: Fabbisogni termici dei soli ambienti occupati. A sinistra il caso con temperatura dell'aria degli ambienti occupati pari a 20 °C e UR uguale a 40% in riscaldamento (linee rosse) e temperatura pari a 26 °C e UR uguale a 55% in raffreddamento (linee blu). A destra temperatura dell'aria pari a 23°C in riscaldamento e in raffrescamento e UR variabile da 40% nelle giornate più fredde, fino a 60% nei giorni più critici estivi.

La figura 2 mostra i carichi termici richiesti ai generatori, aggiungendo ai valori di figura 1 l'aria primaria (considerando una temperatura d'immissione di 18°C tutto l'anno e regolazione estiva a punto fisso). Benché in gennaio febbraio e dicembre alcuni ambienti vanno raffreddati se si tiene una temperatura massima di 23°C tutto l'anno (figura 1 diagramma di destra), comunque ai generatori non viene richiesto alcun carico, perché l'aria primaria riesce a fornire da sola la potenza sufficiente mediante free-cooling.

Se si mantiene una temperatura dell'aria costante a 23°C, si nota che è maggiore:

- 1) la potenza massima in riscaldamento e in raffreddamento
- 2) nei periodi estivi, da giugno a settembre, la richiesta di riscaldamento per alimentare le batterie del post riscaldamento
- 3) l'energia richiesta in riscaldamento e in raffreddamento

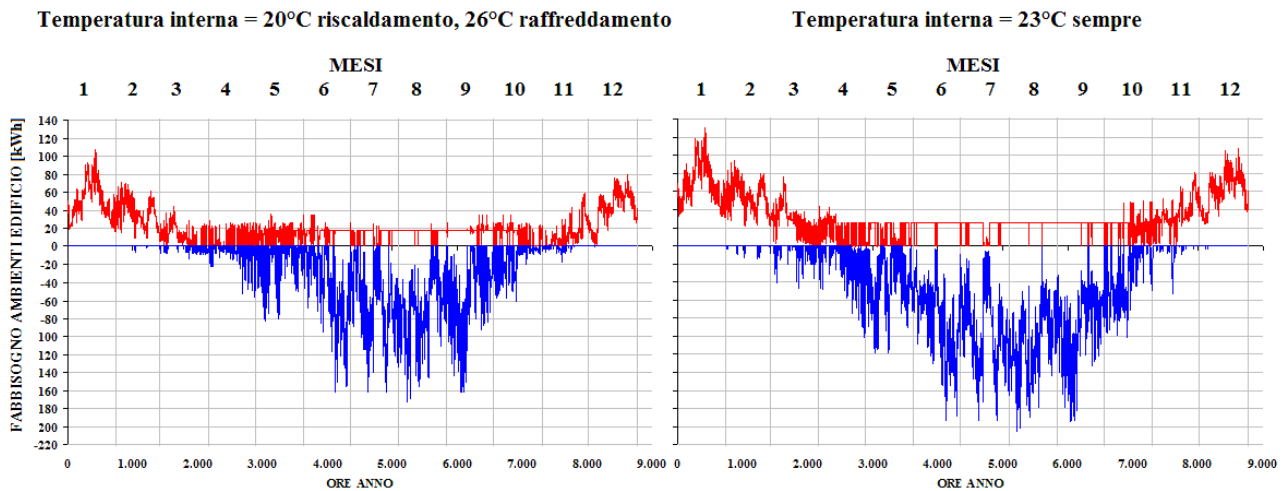


Figura 2: Carichi termici richiesti ai generatori: a sinistra temperatura 20°C 40% UR in riscaldamento (linee rosse) e 26°C 55% UR in raffreddamento (linee blu). A destra 23°C costanti, con UR variabile da 40% nelle giornate più fredde, fino a 60% nei giorni più critici estivi

Il passaggio prima per un calcolo che non comprenda l'aria, poi nel secondo passaggio perché la comprenda, è sempre necessario per la corretta scelta dell'impianto e il suo dimensionamento. Nel caso in esame, permette di evidenziare le possibilità concesse dal free-cooling. Del tema se ne parlerà più approfonditamente in articoli dedicati.

Aumento di consumi e di potenza dei generatori per un eccesso di temperatura ambiente

L'aumento del carico richiesto ai generatori e la loro potenza massima nell'anno medio tipo è incrementata in modo diverso a seconda dell'isolamento dell'edificio. Come detto, questo tema sarà trattato in modo dettagliato nei prossimi articoli. Qui si vuole dare solamente un ordine di grandezza del valore degli incrementi, limitandosi all'esempio riportato. Ogni edificio fa storia a sé stante, ma, per esperienza dell'autore, i valori riportati di seguito sono abbastanza corretti, almeno per edifici funzionanti 24 ore al giorno.

La figura 3 mostra l'incremento di potenza massima prevista per mantenere gli ambienti occupati dell'edificio sempre a 23°C, contro i 20°C in riscaldamento e i 26°C in raffreddamento. La figura è parametrizzata in funzione di tre tipi di isolamento: precedente al 2005, attuale e futuro previsto nel 2021. In riscaldamento l'aumento è molto limitato, inferiore al 7%, nel caso di scarso isolamento, molto più marcato con isolamenti più spinti. In raffreddamento, l'aumento di potenza è sostanzialmente uguale, sia perché l'isolamento influisce poco in tale modalità di funzionamento (anzi, oltre certi limiti aumentano i fabbisogni), sia perché il maggior consumo è dovuto alla maggiore deumidificazione richiesta per mantenere 23°C in estate con UR non superiore al 60%.

La figura 4 mostra l'aumento di energia richiesto ai generatori, negli stessi casi visti in precedenza. In raffreddamento il maggior consumo è pari a circa l'80% con ogni tipologia di isolamento, mentre in riscaldamento varia tra il 44% e l'80%, all'aumentare dell'isolamento termico. Mantenere una temperatura di 23°C tutto l'anno porta a un consumo annuo di energia ben maggiore all'aumento di potenza massima richiesta. Se l'utente finale non fosse opportunamente ragguagliato su questo aspetto, rischierebbe di non curarsene più di tanto, perché l'impianto gli consentirebbe comunque di raggiungere una temperatura dell'aria di 23°C sempre.

Chi scrive, presenta sempre ai propri clienti le valutazioni energetiche cambiando anche le condizioni termometriche ambiente, in modo da renderli consci del problema.

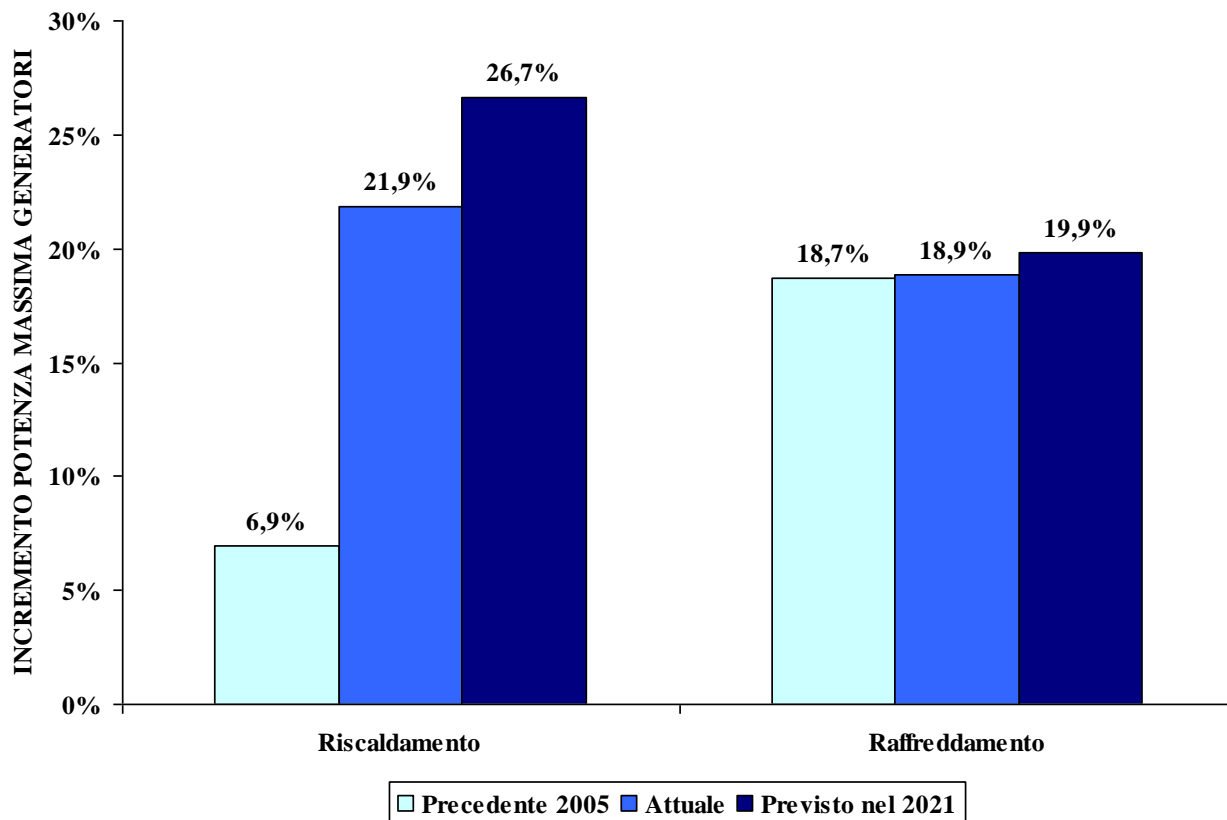


figura 3: aumento della potenza richiesta ai generatori per diversi livelli di isolamento termico

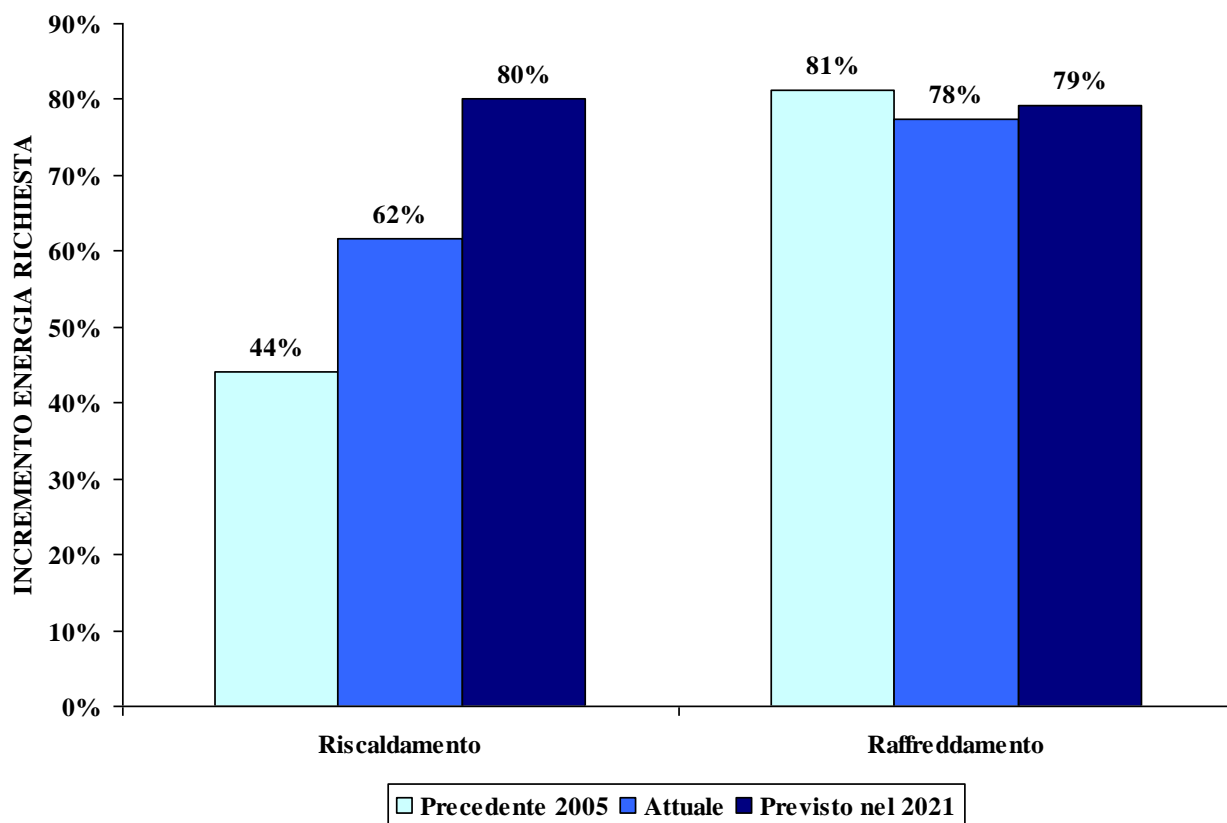


figura 4: aumento dell'energia richiesta ai generatori per diversi livelli di isolamento termico

L'importanza del metabolismo delle persone, dell'abbigliamento e della temperatura radiante

Perché si dovrebbero mantenere degli ambienti occupati una temperatura dell'aria di 23°C tutto l'anno negli uffici? Perché è una temperatura più "comoda", nel senso che è accettabile da un numero maggiore di utenti. Il motivo si coglie immediatamente conoscendo pochi principi di base della teoria del comfort termica: la vera regolazione termica fine la può dare solamente l'abbigliamento, a parità di ogni altra condizione, in particolare del metabolismo, quindi dell'attività umana e della temperatura media radiante.

Nel corso dei secoli l'uomo ha imparato a difendersi dal clima in primo luogo abbigliandosi in modo diverso.

L'isolamento termico dell'abbigliamento è misurato nel sistema internazionale in [$m^2 K/W$], anche se più comunemente viene usata l'unità incoerente clo, con $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 K/W$. Secondo la norma UNI EN ISO 15251, l'abbigliamento standard estivo è pari a 0,5 clo, mentre quello invernale è pari a 1 clo. Relativamente all'abbigliamento estivo bisogna fare una distinzione di genere, perché le donne possono essere meno abbigliate degli uomini, almeno negli uffici, non fosse altro perché usano anche gonne e sandali, mentre un uomo non va al lavoro in bermuda e infradito. Quindi, in estate l'isolamento termico dell'abbigliamento può andare da poco più di 0,2 clo (donna in top, reggiseno, pantalocini e sandali) fino a oltre 0,7, per abbigliamento in giacca e cravatta. Ovviamente sono valori molto indicativi, perché dipendono da vari parametri come il tessuto utilizzato, la lunghezza dei calzini ecc. Nelle altre stagioni non vi sono grandi differenze di valori di isolamento termico dell'abbigliamento tra uomo e donna.

Per costruire i grafici seguenti è stato considerato un metabolismo pari a 70 W/m^2 , quello considerato da ASHRAE per calcolare i valori dei carichi endogeni di persone sedute con lavoro di ufficio.

A parità di metabolismo, persone abbigliate in modo diverso, possono percepire la qualità del benessere termico in modo diverso. Analogamente capita a persone abbigliate nello stesso modo, se il loro metabolismo varia, magari perché si alzano in continuazione dalla sedia per risolvere un problema impellente.

La Norma UNI EN ISO 7730 nell'allegato 1, recita testualmente: "*variazioni di abbigliamento potrebbero contribuire a livellare le differenze individuali*". Quest'ultima frase va interpretata nel senso che si deve progettare l'impianto di climatizzazione considerando un abbigliamento standard, quello che si prevede le persone indossino sulla base della stagione, invernale o estiva. Sono le singole persone che si devono adattare coprendosi scoprendosi a seconda delle proprie sensazioni.

All'interno di un ambiente abitato la temperatura media radiante varia sia in funzione della posizione della persona rispetto alle superfici dell'ambiente, opache e trasparenti, e della temperatura di queste superfici; quindi la sensazione termica di una persona, che come detto dipende anche dalla temperatura media radiante, può cambiare anche di molto, solamente spostandosi da un posto all'altro della stanza. Inoltre, al variare della stagione, la temperatura delle pareti opache e soprattutto delle superfici vetrate generalmente cambia, variando di conseguenza la temperatura media radiante.

La figura 5 mostra l'andamento del PMV in inverno in funzione dell'isolamento termico dell'abbigliamento e della temperatura media radiante, per metabolismo tipico delle attività di ufficio, temperatura dell'aria pari a 20 °C, UR uguale a 40%, velocità dell'aria pari a 0,15 m/s. Dalla figura si ricava che quando il valore della temperatura media radiante è uguale a quello imposto per la temperatura dell'aria, la classe B è garantita già a partire da un valore di isolamento termico dell'abbigliamento pari a 1 clo, corrispondente all'abbigliamento maschile invernale, mentre la classe A è garantita da 1,2 clo, valore che si può raggiungere con l'aggiunta di una canottiera (non considerato nell'abbigliamento standard internazionale), mentre la neutralità termica, cioè $PMV =$

0, sarebbe raggiungibile aggiungendo un pullover leggero sotto la giacca (valore circa 1,41 clo - punti rossi).

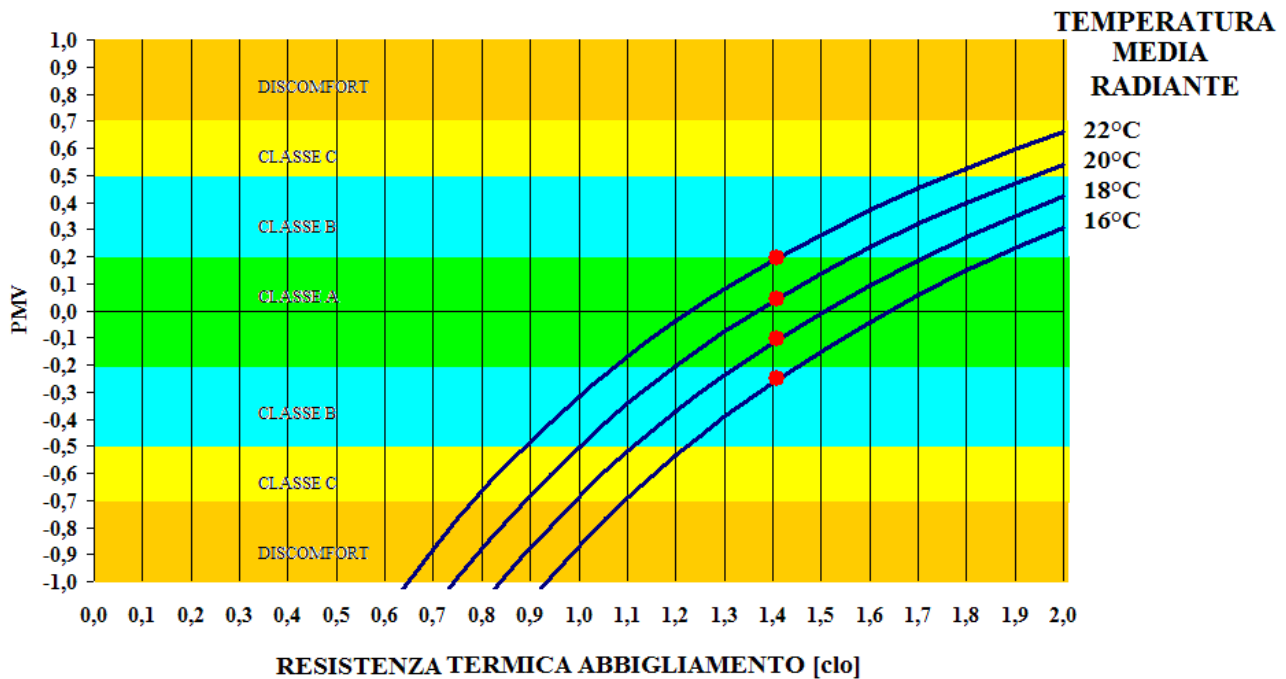


Figura 5 – Andamento del PMV in inverno in funzione dell'isolamento termico dell'abbigliamento nel caso di uffici con temperatura dell'aria pari a 20°C, UR uguale a 40% e velocità dell'aria pari 0,15 m/s) -.

A parità di PMV e di temperatura dell'aria, una variazione di temperatura media radiante, dovuta al valore delle temperature superficiali delle pareti e delle superfici presenti in ambiente, anche quelle delle persone, può essere compensata variando l'isolamento termico dell'abbigliamento, quindi aggiungendo o togliendo un capo. Generalmente in inverno la temperatura media radiante tende ad essere inferiore a quella dell'aria in ambiente. Tuttavia, soprattutto negli edifici vetrati, la temperatura media radiante è fortemente influenzata dall'irraggiamento solare e può passare da valori inferiori alla temperatura dell'aria dell'ambiente a valori superiori. Pertanto, nel corso della giornata la variazione dell'abbigliamento si rende generalmente necessaria nelle giornate assolate.

Ben diversa la situazione in estate, quando la differenza di abbigliamento tra uomo e donna è decisamente più marcata. La figura 6 mostra l'andamento del PMV in estate per lo stesso caso di Figura 1, ma con un valore di temperatura dell'aria pari a 26 °C. Quando il valore della temperatura media radiante è uguale a quello della temperatura dell'aria, la classe A è garantita per valori di isolamento termico dell'abbigliamento compresi tra 0,25 clo e circa 0,35 clo, mentre la classe B è garantita fino a un valore di circa 0,61 clo.

Generalmente in estate la temperatura media radiante tende a essere superiore a quella della temperatura dell'aria nell'ambiente e, soprattutto negli edifici molto vetrati, può salire ulteriormente in prossimità delle finestre nelle ore di massimo irraggiamento (in assenza di schermi esterni, la temperatura superficiale interna di vetri selettivi può superare abbondantemente i 35°C).

La temperatura media radiante influisce di più sul benessere termico rispetto a quanto accade nella stagione invernale, come testimoniato dal fatto che a parità di isolamento termico dell'abbigliamento la pendenza delle curve in Figura 6 è maggiore di quella in Figura 5.

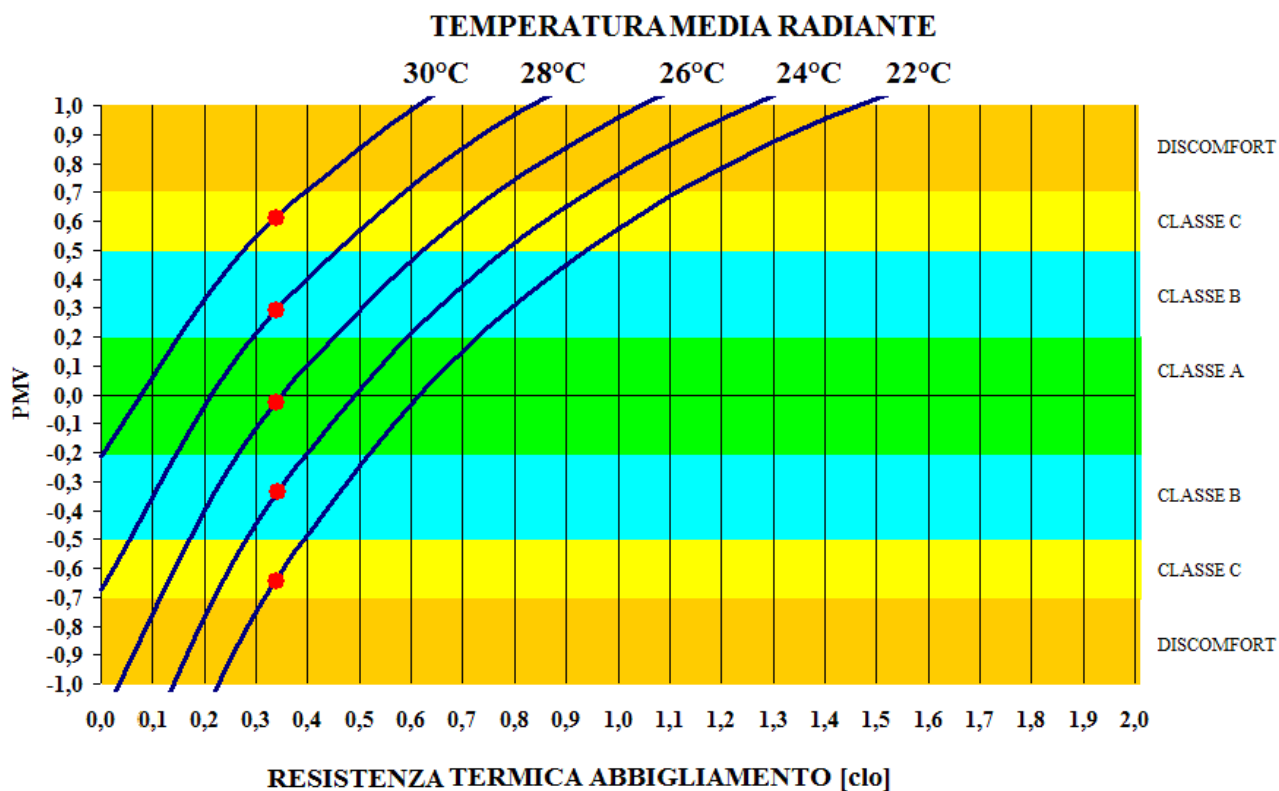


Figura 6 - Andamento del PMV in estate in funzione dell'isolamento termico dell'abbigliamento nel caso di uffici con temperatura dell'aria pari a 26°C, UR uguale a 55% e velocità dell'aria pari 0,15 m/s) -.

L'abbigliamento standard pari a 0,5 clo può garantire la classe A solo con temperatura media radiante inferiore alla temperatura dell'aria dell'ambiente occupato. Per garantire la classe A o almeno in classe B prossima alla A (valore attorno a PMV 0,3) con una temperatura media radiante maggiore bisogna abbigliarsi in modo più leggero, circa 0,35 clo, più o meno il valore raggiunto vestendosi in maglietta a maniche corte e e pantaloni lunghi estivi.

Le figure 5 e 6 spiegano perché gli utenti dovrebbero essere davvero istruiti sull'uso corretto dell'abbigliamento, in modo da non scambiare la necessità di variarlo durante la giornata come una scocciatura, anziché il modo più fine per regolare il comfort termico.

Se non si fa così, si rischia di scegliere una temperatura intermedia, 23°C, energeticamente dannosa durante tutto il periodo di funzionamento dell'impianto.

Osservando la figura 7, e confrontandola con le precedenti due, si comprende come il mantenimento di una temperatura ambiente di 23°C permetta una maggiore flessibilità nell'abbigliamento degli occupanti dell'ambiente e minore modifiche allo stesso, al variare non solo delle stagioni, ma anche della temperatura media radiante a causa dell'irraggiamento solare durante il giorno.

I punti rossi indicano una resistenza termica dell'abbigliamento pari a 0,75, a metà strada tra i due valori di abbigliamento standard e abbastanza prossimo all'abbigliamento estivo in giacca e cravatta. Si può notare come all'alzarsi della temperatura media radiante in estate basta togliersi qualche capo per mantenere il benessere (la giacca estiva vale circa 0,25 clo), mentre in inverno PMV = 0 con abbigliamento standard (clo = 1) si raggiunge se la temperatura media radiante è 3°C al di sotto della temperatura dell'aria dell'ambiente occupato, valore basso che può capitare in edifici poco isolati.

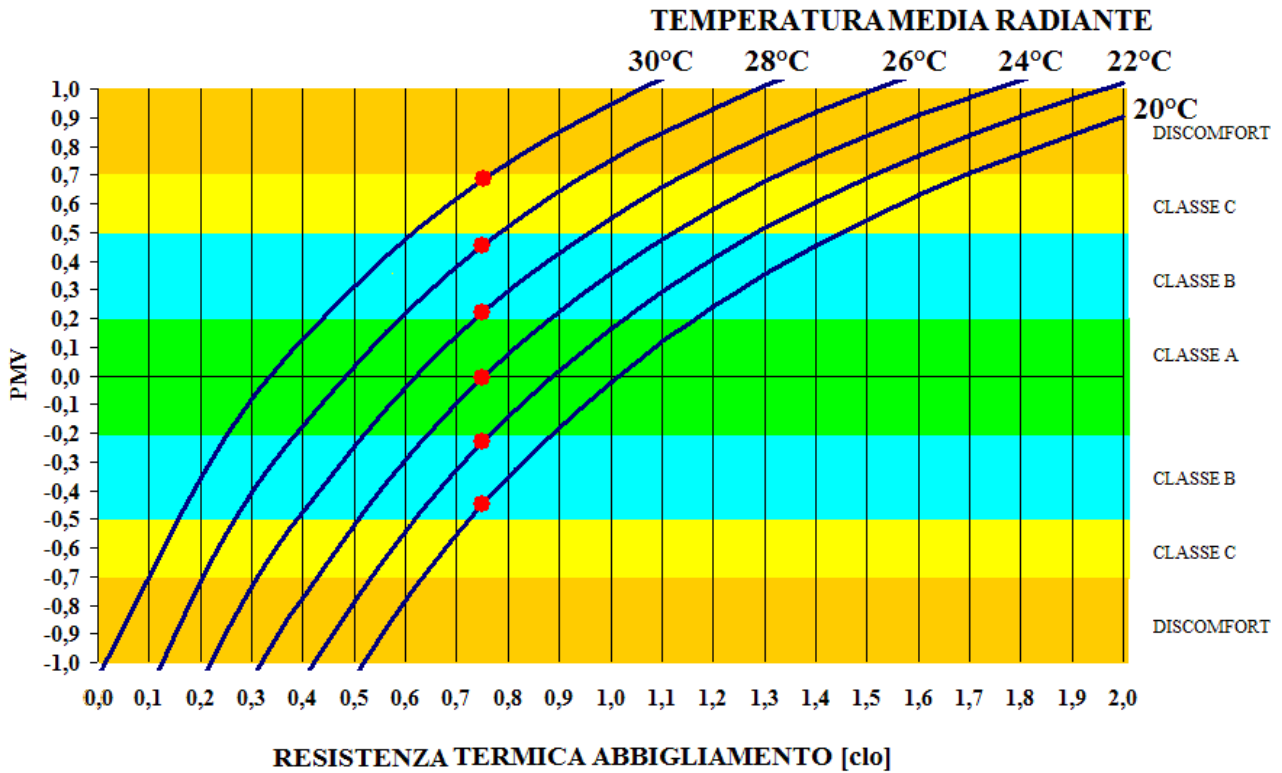


Figura 7: variazione del PMV durante l'anno in funzione della resistenza all'abbigliamento e della temperatura radiante (attività di lavoro in ufficio, temperatura aria 23°C, UR = 55%, velocità dell'aria 0,15 m/s)

Non a caso, negli USA tendenzialmente negli edifici si mantiene una temperatura costante di 23°C durante tutto l'anno.

Conclusioni

La temperatura dell'aria mantenuta negli ambienti occupati è fondamentale per garantire il minor consumo possibile, quindi l'avvicinamento degli edifici agli obiettivi di bilancio annuale zero.

Tuttavia, utilizzare valori di temperatura adeguati passa necessariamente per la consapevolezza dell'utente finale della necessità di modificare l'abbigliamento nel corso della giornata, anche di poco. Prima ancora è fondamentale far comprendere al progettista architettonico l'importanza della temperatura radiante, quindi degli effetti dell'isolamento termico e della superficie e caratteristiche delle vetrature, come sarà considerato nei prossimi articoli.