



Convegno FIRE

L'efficienza energetica negli edifici: opportunità e ruoli per gli Energy Manager

Milano 11-12 novembre 2004

*Centro Congressi Palazzo delle Stelline
Corso Magenta, 61*

Criteri per una climatizzazione sostenibile

G.V. Fracastoro, Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino.

Introduzione

Per climatizzare si intende “mantenere l'edificio in condizioni tali da consentire di svolgere in condizioni di comfort le normali attività, in ogni stagione dell'anno”. Questa è la “funzione-obiettivo” a cui tende il sistema edificio-impianto.

“Sostenibile” è un vocabolo abusato, col quale si denomina un complesso di azioni che per raggiungere l'obiettivo non depauperano le risorse disponibili, lasciando ai posteri un patrimonio inalterato di risorse di energia, e un ambiente non peggiore di quello che abbiamo ricevuto. Ma questa definizione è un miraggio irraggiungibile: neppure una “zero energy house” potrebbe avvicinarvisi, se si contano le risorse energetiche utilizzate (e il relativo impatto ambientale) per la produzione dei manufatti che permettono di azzerare la domanda di energia. Nessuna azione è pertanto sostenibile in senso stretto: ci contenteremo dunque di adottare un approccio che si *ponga il problema* di non depauperare le risorse disponibili e di un risultato che vi si avvicini *abbastanza*.

Nel Nord Europa, dove le temperature medie del mese di gennaio sono di 5 -10 °C inferiori allo zero, e dove quelle estive a malapena raggiungono i 20 °C (a parte l'anomala estate del 2003), la linea da adottare è quella di minimizzare le dispersioni termiche invernali (pareti ben isolate), e sfruttare al massimo gli apporti solari attraverso grandi pareti finestrate a Sud. Viceversa, per i Paesi della fascia subtropicale, la linea da adottare è, altrettanto chiaramente, quella di minimizzare i carichi estivi riducendo i carichi solari (finestre piccole) e smorzando i picchi di carico (pareti pesanti). Anche in questo caso le linee guida per una progettazione sostenibile sono abbastanza chiare.

Nel nostro clima temperato i carichi termici sia d'inverno che d'estate sono invece piuttosto contenuti rispetto ad altre aree geografiche, e ciò rende paradossalmente molto più difficile individuare la strategia da adottare per ottimizzare il comportamento di un edificio dal punto di vista termico.

Soluzioni progettuali che permetterebbe di ridurre i carichi invernali rischiano infatti di aumentare quelli estivi; insomma, il rimedio, in un Paese dove il condizionamento dell'aria fai-da-te trova ogni anno centinaia di migliaia di nuovi adepti, rischia di essere peggiore del male. Occorre dunque individuare una attenta “via di mezzo”. Se esiste un filo conduttore in questa trattazione, esso può essere indicato con il verbo “avvicinare”. Avvicinare l'ambiente interno a quello esterno attraverso un edificio semipermeabile e adattabile alle variazioni climatiche; avvicinare domanda e offerta di energia, nel senso di colmare il “gap di qualità termodinamica” o di tempo fra di esse; avvicinare l'utente all'ambiente esterno per stimolare la sua adattabilità.

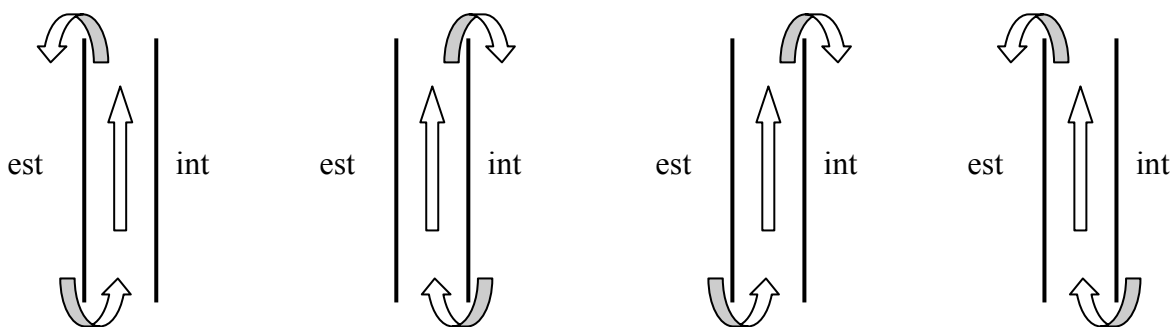
Non si entrerà dunque qui nel dettaglio delle tecnologie da adottare, ma si cercherà di fornire delle *linee di tendenza*. Per dare un ordine alle scelte progettuali sostenibili che verranno descritte si ricorrerà allo schema seguente:

- Riduzione della domanda
- Miglioramento dell'efficienza di conversione degli impianti
- Ottimizzazione di sistema
- Azioni sugli utenti

Riduzione della domanda: l'involucro

Le nuove pareti cercano di essere il più possibile versatili, in modo da adattarsi alle mutevoli condizioni climatiche. Sono di moda le *"facciate attive"*, in cui i ruoli una volta ben distinti della facciata opaca e di quella trasparente vengono svolti spesso da un unico tipo di involucro, spesso al 100% vetrato. Esse permettono di gestire in modo integrato e flessibile (già dal 1981 Mick Davies parlava di *"A wall for all seasons"*) il compito di isolare l'edificio dal punto di vista termo-acustico, di garantirne l'illuminazione naturale e perfino la ventilazione. La facciata diviene quasi un'appendice dell'impianto, che si adatta in modo intelligente (*"Intelligent Glass Façades"*, A. Compagno, 1996) alle variazioni dell'ambiente esterno e dei bisogni degli occupanti.

Vediamo alcune caratteristiche di queste facciate. L'Istituto Belga di Ricerca sugli Edifici (BBRI, 2002) ha definito *facciata attiva* *"una facciata realizzata con più involucri vetrati, separati da una intercapedine d'aria ventilata, in genere dotata di sistemi automatici di regolazione"*. Nella definizione compaiono le caratteristiche fondamentali di tali facciate: i due involucri vetrati e l'aria che scorre fra di essi. Esse possono coprire uno o più piani, la ventilazione può essere naturale o meccanica. La regolazione, automatica o semi-automatica, può modificare la strategia di ventilazione e l'apertura/chiusura degli schemi solari.



lama d'aria esterna (LE)	lama d'aria interna (LI)	immissione d'aria (I)	estrazione d'aria (E)
--------------------------	--------------------------	-----------------------	-----------------------

Figura 1 – Principi di ventilazione.

Il principio di ventilazione (Fracastoro, 2003) è una delle caratteristiche distintive delle facciate attive. I casi principali che si presentano sono illustrati in Fig. 1.¹

caso LE

E' il classico caso di "free cooling": l'aria esterna viene utilizzata per rimuovere il carico solare assorbito dalla parete esterna della facciata. L'aria risale spontaneamente lungo l'intercapedine per effetto camino se è più calda dell'aria esterna.

caso LI

L'aria estratta dall'ambiente viene reimpressa nell'ambiente stesso, oppure inviata in un plenum per essere successivamente espulsa. In quest'ultimo caso essa funziona di fatto come il sistema (E). Nel primo caso, invece, il sistema funziona soltanto se la facciata attiva è in grado, come un muro Trombe, di assorbire la radiazione solare. Ciò può essere ottenuto trattando la parete interna in modo da renderla assorbente. L'aria, in presenza di irraggiamento solare, risale spontaneamente lungo l'intercapedine se è più calda di quella interna.

¹ In alcuni casi l'aria può scorrere dall'alto verso il basso.

caso I

Prevede che l'aria di rinnovo sia immessa attraverso l'intercapedine. D'inverno essa viene preriscaldata prima di essere immessa in ambiente: la temperatura media dell'aria nell'intercapedine è più bassa di quella esterna, quindi il preriscaldamento produce un aumento delle dispersioni per trasmissione. Da un punto di vista del bilancio globale dell'ambiente non vi sono né svantaggi né vantaggi rispetto a una parete normale: il calore recuperato dall'aria di rinnovo è uguale all'aumento di dispersioni termiche per conduzione. L'aria può risalire naturalmente attraverso l'intercapedine, ma la portata non può essere controllata, poiché dipende dalla temperatura esterna.

caso E

Se l'aria estratta dall'interno scorre nell'intercapedine prima di venire espulsa la differenza di temperatura attraverso la parete interna si riduce, fino a rendere l'intercapedine "semi-adiabatica". Ciò consente di recuperare buona parte del calore necessario per il trattamento dell'aria di ventilazione sotto forma di minor dispersione per trasmissione: la parete funge di fatto da "recuperatore di calore". D'inverno l'aria non può risalire naturalmente lungo l'intercapedine, in quanto tende a raffreddarsi: occorre dunque movimentarla meccanicamente.

I vetri "intelligenti"

L'impiego di vetri che modificano le loro proprietà ottiche e solari spontaneamente o a comando consente di estendere ulteriormente la gamma di prestazioni delle facciate attive.

Tra i principali tipi di vetri "intelligenti", la variazione è spontanea per quelli fotocromici, al variare dell'intensità della radiazione solare, e quelli termocromici, al variare della temperatura, mentre in quelli elettrocromici la variazione è indotta da una corrente elettrica.

Particolarmente promettenti, fra i vetri termocromici, quelli con rivestimenti in biossido di vanadio (Manning e Parkin, 2004), che lasciano sempre passare la radiazione visibile, mentre riflettono i raggi infrarossi quando la loro temperatura sale al di sopra dei 29 °C.

Le proprietà riflettenti del biossido di vanadio erano note da tempo, ma il decisivo passo avanti è stato fatto riducendo la temperatura alla quale il materiale iniziava a divenire riflettente da 70 °C a 29 °C.

Le proprietà del vanadio sono basate sulla sua capacità di alternare il suo comportamento come metallo e semiconduttore. Il passaggio fra i due comportamenti avviene a una temperatura di transizione, il cui valore è stato ridotto incorporando nel vanadio basse concentrazioni di tungsteno. E' stato inoltre sviluppato un metodo di deposizione del rivestimento denominato Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition (APCVD) che può esser impiegato durante la fabbricazione del vetro, in modo da rendere abbordabile il processo dal punto di vista economico.

Il prossimo passo sarà quello di rendere durevole il prodotto e poi di migliorarne il colore, che è al momento non molto attraente (giallo-verde).

Pareti che producono energia

Vi sono poi facciate vetrate che alle varie funzioni (illuminazione, isolamento, ventilazione) aggiungono anche la produzione di energia elettrica mediante *celle fotovoltaiche*, che possono svolgere anche una funzione supplementare di protezione solare. Le celle, del tipo più economico in film di silicio amorfo, sono alloggiate sulla pelle esterna della facciata, in vetro laminato. Per aumentare la trasmissione visiva sono distanziate di circa 5 mm fra loro, oppure possono essere depositate sul vetro con un processo laser che permette di formare sottili strisce trasparenti sul film.

Problemi delle facciate attive

Nonostante le loro interessanti potenzialità, molti sono i problemi che si possono presentare con l'uso di facciate attive. Essi riguardano:

- il rispetto delle norme antincendio, quando l'intercapedine d'aria si estende su molti piani;
- il progetto e la realizzazione della facciata, che devono essere profondamente integrati con quello degli impianti e magari delle strutture
- la manutenzione e la durata dei componenti
- la difficoltà di determinarne le prestazioni, soprattutto nel caso di ventilazione naturale
- il rischio di condensa
- la difficoltà di dimostrarne la conformità con le norme sul risparmio energetico

- i problemi termo-strutturali
- il modesto fonoisolamento e la propagazione del suono all'interno dell'intercapedine

Resta inoltre un problema di fondo, legato alla quasi totale assenza di inerzia termica di questo tipo di facciata, un problema che si manifesta soprattutto nel periodo estivo. A tal proposito vale la pena segnalare pareti dotate di singolari capacità di accumulo del calore: le pareti realizzate in materiali a cambiamento di fase.

Riduzione della domanda: l'accumulo di calore mediante PCM

I cosiddetti Phase Change Materials (PCM), o materiali a cambiamento di fase sono attualmente in fase di studio e di sviluppo come un interessante sistema per smussare le fluttuazioni giornaliere della temperatura ambiente attraverso la riduzione dei picchi di temperatura interna. Ciò determina un risparmio di energia, ma soprattutto consente di ridurre le potenze di picco, contribuendo così in fin dei conti a ridurre la necessità di nuove centrali elettriche.

I PCM sono solidi a temperatura ambiente, ma quando questa supera i 25-28 °C circa essi si liquefanno accumulando calore che viene sottratto all'ambiente. Allo stesso modo, quando la temperatura scende, il materiale si solidifica e cede calore all'ambiente.

Le caratteristiche che un PCM dovrebbe possedere per poter essere impiegato in edilizia sono:

1. temperatura di fusione intorno ai 25 °C
2. elevato calore di transizione di fase
3. basso costo
4. non essere tossico, corrosivo o igroscopico
5. essere disponibile sul mercato in quantità tali da poter essere incorporati nei normali materiali edilizi.

Rispondono a queste caratteristiche alcuni composti paraffinici (idrocarburi alchilici cristallini lineari) ottenibili come sottoprodotti della raffinazione del petrolio o per polimerizzazione.

Riduzione della domanda: la ventilazione

Una prima considerazione da fare è che la ventilazione assorbe, soprattutto negli edifici di grandi dimensioni, una quota consistente dell'energia per la climatizzazione: quando poi le perdite attraverso l'involucro siano state opportunamente ridotte, essa può essere responsabile anche del 30 – 40 % delle dispersioni.

E' possibile agire secondo tre linee strategiche:

1. mantenere un ricambio d'aria il più vicino possibile a quello minimo compatibile con una buona qualità dell'aria interna
2. ridurre il calore necessario per il trattamento dell'aria
3. ridurre o se possibile azzerare l'energia elettrica necessaria per la movimentazione dell'aria

Per raggiungere il primo obiettivo l'involucro edilizio deve innanzitutto garantire una buona tenuta all'aria: ovvero, le infiltrazioni d'aria attraverso i giunti non dovrebbero superare 0.5 ricambi orari. Se però ci si affida a un involucro tradizionale si avrà come risultato un ricambio d'aria variabile nel corso dell'anno, con valori frequentemente ben al di sotto e ben al di sopra del valore ottimale.

Un passo avanti si può fare impiegando in un edificio dotato di un impianto di estrazione a flusso semplice. In questo caso è necessario che l'involucro abbia una buona tenuta all'aria e sia dotato di speciali aeratori (bocchette lineari di immissione dell'aria) regolabili manualmente o automaticamente. Un interessante sistema utilizza aeratori in cui la sezione di apertura si modifica automaticamente al variare dell'umidità relativa (*bocchette igroregolabili*). In questo modo l'aria verrà immessa nei locali dove maggiore è la presenza di persone o di attività che comportano l'emissione di vapor d'acqua.

Il secondo aspetto riguarda il risparmio dell'energia per il trattamento dell'aria. Esso può essere conseguito mediante il preriscaldamento "passivo" dell'aria esterna, prima di essere introdotta nell'edificio, attraverso canali sotterranei che scambiano calore con il terreno. Il terreno ha una temperatura molto più costante (intorno a un valore vicino alla media annua delle temperature esterne) di quella dell'aria. Ciò permette di preriscaldare l'aria di una decina di °C rispetto alla temperatura esterna. In modo del tutto analogo si può preraffrescare l'aria d'estate.

Un sistema più tradizionale consiste nel recupero termico sull'aria estratta mediante uno scambiatore rotativo aria-aria (recupero statico, eventualmente entalpico). Buona parte (fino al 70%) del calore sensibile dell'aria viziata estratta può essere trasferito all'aria esterna. In questi casi è tuttavia necessario un vero e proprio impianto di ventilazione bilanciato a doppio flusso, con una complessa rete di distribuzione e ripresa dell'aria.

La situazione migliora ancora se, invece di un recuperatore statico, se ne adotta uno "termodinamico", ovvero si dispone fra le due correnti d'aria una pompa di calore reversibile che, con modesta spesa di elettricità², permette di trasformare l'impianto di ventilazione in un impianto di trattamento termico dell'aria.

E' infine possibile ridurre fin quasi ad azzerarla, l'energia elettrica impiegata per la movimentazione dell'aria (ventilatori). I sistemi di questo tipo sfruttano i meccanismi naturali (vento, effetto camino) controllandoli opportunamente. Alla ventilazione naturale è in genere bene affiancare un comune impianto meccanico di ventilazione realizzando così un impianto a ventilazione "ibrida" (Heiselberg, 2002).

L'insieme delle scelte progettuali sopra descritte, assieme ad altre, più note (uso spinto dell'isolamento termico, sistemi solari "passivi", telai a taglio termico, vetri doppi basso-emissivi, rompi getti per l'acqua calda, etc.) può portare l'edificio a ridurre la domanda di energia di climatizzazione di quasi un ordine di grandezza rispetto ai valori che derivano dall'applicazione della legge 10/91 e dei suoi regolamenti di attuazione. In questo caso un edificio residenziale può venire a giusto titolo definito "casa passiva" (*Passivhaus*), con un consumo per riscaldamento inferiore a 15 kWh/(m²a) e un consumo globale di energia per riscaldamento, acqua calda ed elettricità non superiore a 120 kWh/(m²a).

Miglioramento dell'efficienza di conversione degli impianti

Una volta che si è fatto il possibile per minimizzare la domanda si deve pensare a un impianto caratterizzato da elevata efficienza di conversione. Limitandosi, come usi finali, a riscaldamento, condizionamento, ventilazione, i componenti-chiave includono materiali innovativi, combustione con basse emissioni inquinanti, nuovi refrigeranti e cicli termodinamici, sensori e regolazioni intelligenti, riduzione delle perdite termiche ed elettriche di stand-by, impianti microgenerativi, calore di scarto delle celle a combustibile, etc.

Alcune tecnologie rappresentative includono, per la produzione di calore caldaie a condensazione, pompe di calore ad assorbimento a gas, sostanze desiccanti per il pretrattamento dell'aria di ventilazione, scaldacqua a pompa di calore, celle a combustibile a scambio protonico.

In un'ottica di sostenibilità si può iniziare a pensare a impianti frigoriferi basati su cicli alternativi con basso GWP (Greenhouse warming potential), come quelli basati su cicli Stirling, Brayton, o sull'effetto termoelettrico.

Ottimizzazione di sistema

Impianti a bassa temperatura

Per la climatizzazione degli edifici non è necessaria energia pregiata. Quella prodotta dall'elettricità per effetto Joule, o attraverso la combustione di combustibili fossili, raggiunge temperature dell'ordine di 1000-2000 °C, viene impiegata per produrre un fluido termovettore che non supera i 90 °C e questo, a sua volta, serve a mantenere la casa a 20 °C. E' come utilizzare un cannone per sparare a un moscerino.

Se poi si usano particolari corpi scaldanti (soffitti e pavimenti radianti,) la temperatura del fluido termovettore può essere ridotta a meno di 50 °C. A questa temperatura l'energia ha un valore termodinamico bassissimo e la si può facilmente ottenere con impianti di tipo non convenzionale come pompe di calore, celle a combustibile, microgeneratori, fonti geotermiche, teleriscaldamento urbano, pannelli solari. Alcuni di questi sono alimentati da fonti gratuite.

² In questi casi, sono possibili COP anche superiori a 3.

Il principio base su cui sono radicate queste tecnologie “*low-temperature heating, high-temperature cooling*” (LTH/HTC) è il secondo principio della termodinamica.

Senza voler approfondire troppo questo tipo di analisi basterà dire che l’energia termica possiede due valori, uno quantitativo, e uno qualitativo, detto “exergia” che tiene conto della temperatura alla quale tale energia è disponibile.

E’ chiaro che, al diminuire della differenza di temperatura fra il fluido termovettore e l’ambiente climatizzato deve crescere la sua portata, e dunque le dimensioni dei condotti, dei radiatori e della pompa. Aumentano dunque i costi di investimento, ma ciò è compensato da una diminuzione dei costi di gestione (Figura 2).

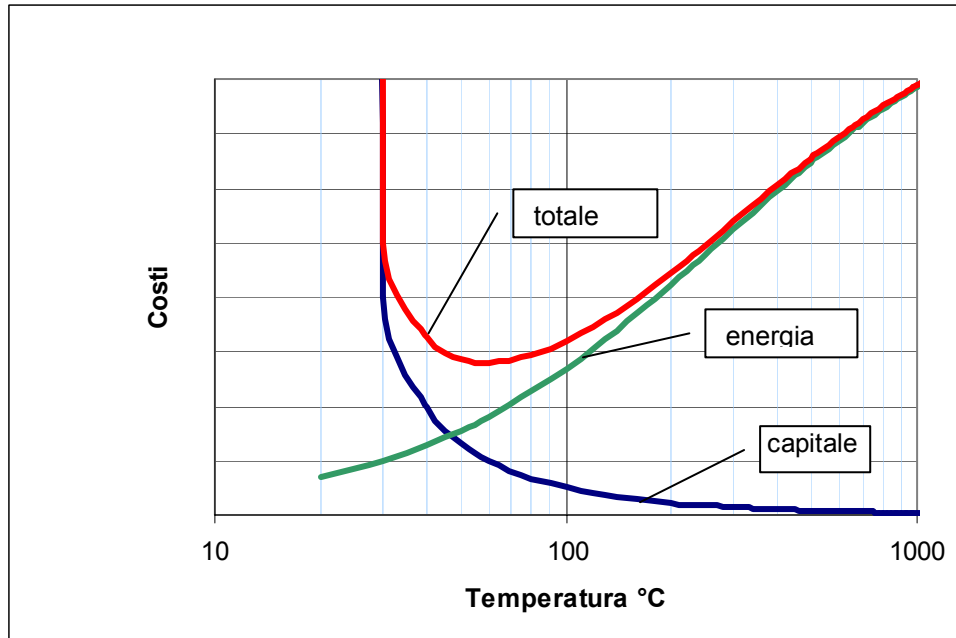


Figura 2. Costo capitale, valore energia e costo totale al variare della temperatura del fluido termovettore.

Per quanto i sistemi LTH/HTC non siano ancora molto diffusi, non sarebbe male prevederne l’impiego per un futuro in cui l’energia pregiata dei combustibili fossili potrebbe non essere più così a buon mercato.

A titolo di esempio,

- il 40% delle nuove abitazioni in Germania hanno pavimenti radianti, con temperature di alimentazione intorno ai 40 °C
- i Paesi Scandinavi e l’Olanda hanno regolamenti e linee-guida che incoraggiano a realizzare impianti termici con temperature di alimentazione non superiori a 70 °C
- in Canada lo sviluppo di celle a combustibile cogenerative sta accelerando rapidamente

Dal punto di vista impiantistico l’unico modo per trasferire calore con differenze di temperatura così basse è quello di utilizzare grandi superfici di scambio, come quelle offerte da pavimenti, pareti o soffitti radianti. Questo vale sia per riscaldamento che per il condizionamento estivo. Questi sistemi presentano oltre tutto caratteristiche ottimali, poiché consentono, a parità di temperatura dell’aria, di realizzare condizioni di comfort migliori di un sistema ad alta differenza di temperatura. Nei sistemi LTH la temperatura media radiante si avvicina infatti maggiormente a quella dell’aria.

Tra gli altri vantaggi di un sistema radiante a bassa temperatura rispetto a un convenzionale sistema a radiatori si possono citare:

1. maggiore uniformità termica spaziale
2. maggiore stabilità termica nel tempo
3. possibilità di utilizzo per il raffrescamento estivo
4. minore formazione di particolato torrefatto e sviluppo di microrganismi

5. migliore utilizzazione degli apporti gratuiti (“autoregolazione”)

Energie rinnovabili

Le energie rinnovabili possono costituire una interessante alternativa ai convenzionali impianti di conversione di energia basati sui combustibili fossili, soprattutto in presenza di una politica di incentivazione.

Ad esempio, i collettori solari, utilizzati in modo da massimizzare il ritorno dell’investimento alle nostre latitudini, possono garantire, assieme a un adeguato sistema di accumulo, il 40-70% dell’energia necessaria per la produzione di acqua calda sanitaria, dal 50 al 100% dell’energia necessaria per il riscaldamento di piscine, mentre non contribuiscono a più del 25-30% del riscaldamento ambienti dato che l’offerta di energia è in “controfase” rispetto alla domanda.

In una prospettiva più lontana, i collettori solari possono produrre calore per alimentare impianti frigoriferi ad assorbimento o per la rigenerazione dei desiccanti. In questo caso domanda e offerta sono in fase, e questo rende potenzialmente molto interessante questa soluzione.

Telegestione, contabilizzazione, Edifici intelligenti

I sistemi edilizi intelligenti, o “Intelligent building systems (IBS)” impiegano dati di progetto insieme a dati misurati in continuo per configurare automaticamente controlli e verifiche .

Essi assicurano le migliori prestazioni integrando i vari impianti e ricollaudandoli continuamente per mezzo di programmi automatici che diagnosticano anomalie e degradi.

Gli IBS provvedono all’acquisto di energia, sorvegliano i programmi di manutenzione, documentano le prestazioni degli edifici, coordinano in modo ottimale la produzione di energia con la domanda, assicurando agli occupanti condizioni di comfort, igieniche e di sicurezza al minimo costo.

I dati registrati e le elaborazioni per definire le prestazioni dei vari componenti e impianti vengono memorizzati e conservati nel tempo per fornire un utile feedback a progettisti, installatori e costruttori.

Questi sistemi permettono agli occupanti di regolare la temperatura a proprio piacimento (all’interno dei limiti consentiti), di regolare la temperatura in funzione del profilo di occupazione, regolare la qualità dell’aria in funzione dell’occupazione dei locali e delle normative vigenti.

Ridurre il fenomeno dell’isola di calore

Per arginare il crescente ricorso al condizionamento “selvaggio” una buona soluzione sarebbe quella di ridurre il fenomeno delle isole di calore presente in tutte le grandi città. Queste si formano poiché nelle città la vegetazione viene sostituita dalla pavimentazione stradale, da edifici, e da altre infrastrutture necessarie per ospitare una popolazione crescente, e perché nelle città si riversano flussi di energia di origine antropica confrontabili (anche se di un ordine di grandezza inferiore) con quella solare.

Per esempio, in un’area come quella di Torino, di meno di 500 km², è concentrato un consumo di energia di circa 3 Mtep, pari al 6% della quantità di energia solare (circa 50 Mtep) che arriva sulla stessa superficie in un anno.

La sostituzione della vegetazione elimina l’effetto di raffrescamento naturale dell’ombreggiamento e dell’evapotraspirazione.

Le misure per ridurre l’isola di calore urbana sono pertanto:

- piantare alberi
- installare tetti e pavimentazioni riflettenti

Ciò ha un effetto benefico anche sulla qualità dell’aria e sull’ambiente perché

- ogni albero sequestra 18 kg di carbonio l’anno
- la riduzione della temperatura riduce la necessità di condizionamento estivo e le emissioni che ne conseguono, rallenta la formazione dello smog fotochimico, le emissioni di VOC e le perdite per evaporazione.

Un aumento dell’albedo di 0,1 permette di ridurre la temperatura massima della pavimentazione di quasi 5 °C. A sua volta la temperatura dell’aria ambiente si riduce di circa 0,5 °C se l’albedo di tutte le pavimentazioni si riduce di 0,2.

Collocare alberi intorno alla propria casa può ridurre sensibilmente, fino ad annullarla, la domanda di energia per condizionamento.

Azioni sugli utenti

La corretta informazione e sensibilizzazione sul valore dell'energia e sui danni che il suo uso sconsiderato porta all'ambiente è un elemento fondamentale della sostenibilità. L'analisi che segue riporta i risultati di uno studio di de Dear e Brager (1998), che possono essere letti come una dimostrazione che una certa sensibilità è in realtà presente in tutti gli utenti, purché non li si carichi di eccessive aspettative sulla capacità degli impianti di determinare, senza alcun intervento umano, condizioni ottimali di benessere.

Il comfort adattativo

Di recente un nuovo modello di comfort, detto comfort adattativo (Fracastoro e Corgnati, 2001) è stato proposto da alcuni ricercatori. Essi hanno riscontrato che la percezione delle condizioni climatiche diviene tanto meno "rigida" quanto più gli utenti sono in grado di intervenire, attraverso azioni dirette, sul funzionamento dell'impianto di climatizzazione e dell'edificio, ad esempio agendo sui termostati o aprendo le finestre ("*controllo climatico naturale*", in contrapposizione a "*controllo climatico meccanico*").

Campagne di misura in campo su edifici sia a controllo climatico meccanico che naturale hanno dimostrato come una serie di fattori di adattamento (comportamentale, fisiologico e psicologico) concorrano ad influenzare la sensibilità dell'individuo alla condizione climatica percepita: si parla in quest'ottica di *comfort adattativo*.

Per adattamento non si intende in questo contesto né l'adattamento *comportamentale*, come togliersi o mettersi un indumento, accendere o spegnere un condizionatore, ridurre o aumentare il proprio livello di attività, etc., né quello *fisiologico*, più comunemente noto come acclimatamento, ma quello di tipo *psicologico*. Esso rappresenta le alterate percezioni e reazioni a condizioni climatiche dovute a esperienze passate o ad aspettative: questo aspetto è quindi strettamente legato alla predisposizione mentale che l'individuo ha in quel preciso momento nei confronti dell'ambiente che lo circonda.

Tuttavia, secondo la teoria del comfort adattativo il benessere delle persone non è determinato soltanto dai fattori che determinano il bilancio energetico del corpo umano, ma anche da fattori multiculturali, sia pure di difficile definizione.

Le indagini condotte da de Dear e Brager (1998) hanno mostrato come in locali a "controllo climatico meccanico" gli occupanti richiedano uno stretto controllo delle condizioni climatiche, divenendo rapidamente intolleranti quando tali condizioni differiscono anche di poco rispetto a quelle desiderate. Viceversa, le persone in locali a "controllo climatico naturale" dimostrano di preferire condizioni termiche contenute in un range più ampio.

Oltre a una maggior tolleranza attorno ai valori ottimali di temperatura, questi valori si sono rivelati nei due casi piuttosto diversi, e nel caso di controllo climatico naturale si è riscontrata una evidente dipendenza dalle condizioni climatiche esterne prevalenti. De Dear e Brager hanno affiancato alla ben nota scala a sette valori della *sensazione termica* (TS) impiegata dalla UNI-ISO 7730 e dall'ASHRAE, che presenta la difficoltà di attribuire in modo preciso un valore numerico a giudizi soggettivi come "leggermente caldo", "caldo", "molto caldo", etc., un approccio meno arbitrario, consistente nel chiedere ai soggetti intervistati sul campo se preferiscano un ambiente "più caldo", "più freddo", oppure "nessun cambiamento". È stata allora definita "*temperatura ottimale*", quella per cui è massimo il numero di persone soddisfatte, ovvero che non richiedono alcun cambiamento. Negli edifici a controllo climatico naturale è stata riscontrata (Brager e de Dear, 2000), attraverso una indagine svolta su 160 edifici per uffici, una dipendenza della temperatura ottimale dalla temperatura esterna media, calcolata come media aritmetica tra la media delle temperature minime giornaliere e la media delle massime giornaliere registrate nel mese in esame, espressa da:

$$T_{\text{op,ottimale}} = 17.8 + 0.31 \cdot T_e$$

Riportando su uno stesso grafico (a titolo di esempio, si veda Figura 3) in funzione della temperatura esterna i valori ottenuti con l'approccio adattativo e quelli ottenuti con la ISO-UNI 7730, si può osservare la differenza notevole fra di loro e il potenziale risparmio energetico che potrebbe conseguire da una gestione dell'impianto basata sul metodo adattativo. A tal proposito si ricordi che ogni grado in meno di temperatura interna comporta un risparmio energetico di 1°C circa.

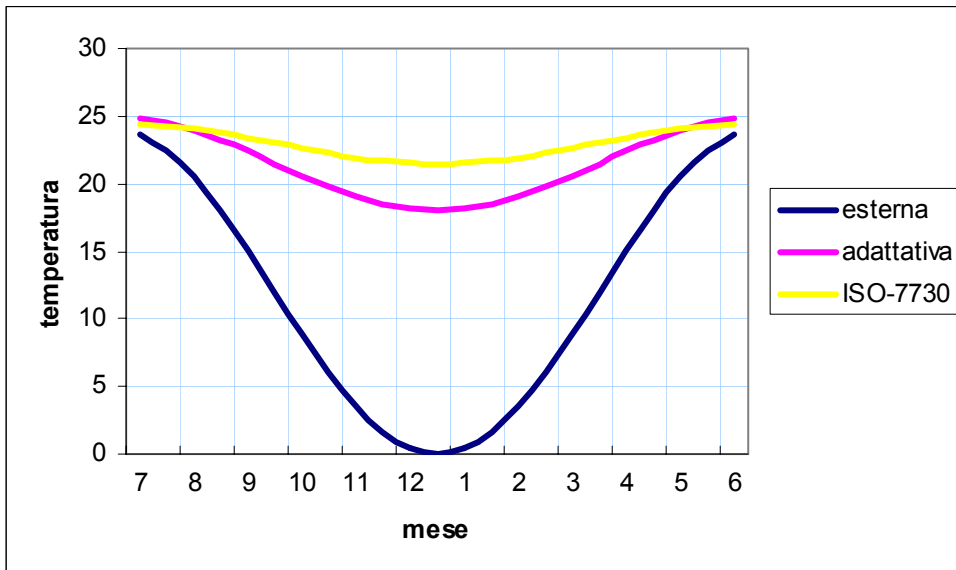


Figura 3 – Temperatura esterna e interna ottimale (adattativa e secondo ISO 7730).

Riferimenti bibliografici:

- BBRI (Belgian Building Research Institute), Sourcebook for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades, BBRI, June 2002.
- Compagno, A., Intelligent glass facades, Birkhauser, Basel, 1996.
- Davies, M., A Wall for all seasons, *RIBA Journal*, February 1981.
- de Dear, R., Brager, G. S., Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, *ASHRAE Transactions: Research*, 4106 (RP-884), 1998.
- Eijdens, H H E W, A C Boerstra, P J M Op 't Veld, Low Temperature Heating Systems – Impact on IAQ, Thermal Comfort and Energy Consumption, IEA Annex 37 Newsletter.
- Fracastoro, G V, Corgnati, S P, Clima interno e involucro edilizio, *Eubios*, no.5, novembre 2001.
- Fracastoro, Facciate vecchie e nuove, *Il Condizionamento dell'Aria*, luglio 2003.
- Heiselberg P (editor), Principles of Hybrid Ventilation, Aalborg University, 2002.
- Manning, T D. and I P Parkin, Atmospheric pressure chemical vapour deposition of tungsten doped vanadium(IV) oxide from VOCl_3 , water and WCl_6 , *Journal of Materials Chemistry*, August 2004.