

L'efficienza energetica nella climatizzazione degli edifici del settore civile:
problemi aperti e nuove tecnologie

icom
istituto per la competitività

ANALISI

W. Grattieri e G. Lapini
CESI RICERCA S.p.A

L'efficienza energetica nella climatizzazione degli edifici del settore civile: problemi aperti e nuove tecnologie

Abstract

L'evoluzione tecnologica negli ultimi anni ha reso disponibili sistemi e materiali che migliorano sensibilmente il livello di comfort negli ambienti, riducendo contemporaneamente i consumi energetici. In Italia, esiste ormai una buona gamma di tecnologie efficienti e consolidate per la climatizzazione delle strutture civili e nella scelta fra le varie soluzioni possibili è particolarmente importante tenere in considerazione non solo la convenienza economica ma anche quella energetica.

Considerazioni generali

Il comfort ambientale negli edifici costituisce uno dei più importanti traguardi perseguito dal modo di vivere moderno. Il mantenimento, durante tutto l'anno, di corretti livelli di temperatura, umidità, ricambi e filtrazione dell'aria, oltre che di rumore ed illuminazione, è particolarmente importante per gli edifici del settore civile, oltre che di quello industriale. Ma se edifici ed impianti non sono ben progettati, ciò può portare a consumi energetici elevati, soprattutto nel settore terziario, laddove il consumo energetico relativo alla climatizzazione diviene prevalente.

L'evoluzione tecnologica negli ultimi anni ha reso disponibili sistemi e materiali che da un lato migliorano sensibilmente il livello di comfort negli ambienti e dall'altro riducono i consumi energetici. Si può in primo luogo agire sull'involucro degli edifici migliorando l'isolamento delle pareti e la qualità dei vetri e degli infissi, eliminando i ponti termici ed introducendo schermature solari o pareti e tetti ventilati. Inoltre si può migliorare l'ambiente al contorno usando il verde come schermatura solare ed antiventato, oltre a orientare opportunamente l'edificio in fase di progetto. In sostanza, l'accurata progettazione e realizzazione dell'involucro edilizio costituisce in qualsiasi situazione ambientale e climatica il primo indispensabile e fondamentale passo per contenere i fabbisogni energetici dell'edificio stesso, a cui potrà far seguito la conseguente ottimizzazione degli impianti di climatizzazione.

Per quanto riguarda tali impianti, si tratta non solo di utilizzare componenti ad alta efficienza energetica (caldaie a condensazione, sistemi solari, pompe di calore), ma anche di curarne il corretto dimensionamento (compreso quello del relativo sistema di distribuzione del calore) e la regolazione, oltre all'adozione di accorgimenti quali il recupero di calore dall'aria di ricambio o fra ambienti ad esigenze climatiche opposte.

Più in generale, è necessaria una corretta integrazione fra involucro ed impianti, da realizzare non solo per gli edifici di nuova costruzione, ma anche nel caso di ristrutturazione di edifici esistenti.

CESI RICERCA opera sistematicamente sulla tematica della climatizzazione nel settore civile, attraverso progetti di ricerca finanziati dal **Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico**¹. Il presente contributo presenta una panoramica delle problematiche ancora oggetto di dibattito e delle tecnologie ad oggi più promettenti.

Le caldaie a condensazione

La scelta dell'impianto di climatizzazione più adatto ad ottenere, caso per caso, la migliore efficienza energetica dipende dalla concomitanza di vari fattori; di questi, l'efficienza energetica delle singole apparecchiature è condizione necessaria, ma spesso non sufficiente se non accompagnata da adeguata progettazione del sistema nel suo complesso.

Consideriamo per esempio un edificio che per le condizioni climatiche locali necessita solamente del riscaldamento invernale e della produzione di acqua calda sanitaria. In questo caso, l'adozione di una caldaia a condensazione potrebbe apparire come la soluzione più semplice ed ovvia per ottenere un sensibile miglioramento dell'efficienza, specie se si trattasse della ristrutturazione di un impianto già in precedenza dotato di un tipo di caldaia ormai obsoleto. Bisogna però tenere ben presente che le caldaie a condensazione sono in grado di fornire i loro interessantissimi rendimenti nominali (anche dell'ordine del 105 %, con riferimento al potere calorifico inferiore del combustibile) solamente nel caso in cui vengano fatte funzionare con temperatura dell'acqua di ritorno dall'impianto non superiore a 40-42°C.

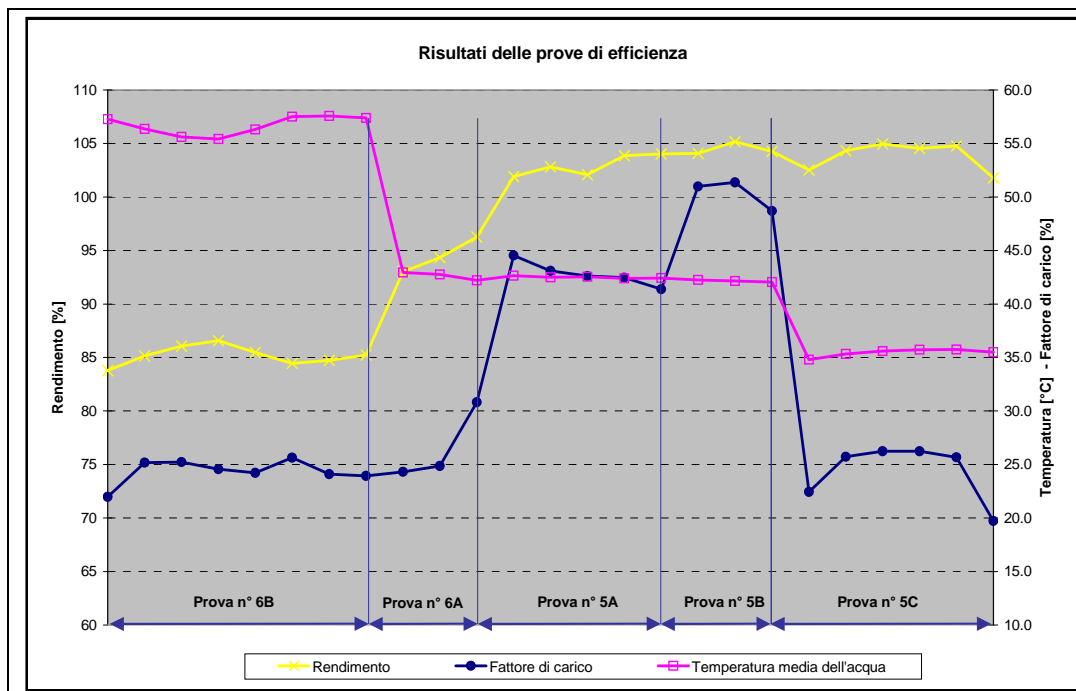


Figura 1: Prove su caldaia a condensazione

Ciò è in genere scarsamente compatibile con l'utilizzo di elementi di distribuzione del calore quali i classici radiatori, che funzionano bene con temperature nettamente più elevate, mentre richiede l'adozione di sistemi di distribuzione a pannelli radianti oppure a fan-coils. In effetti, da prove effettuate presso i laboratori sperimentali di CESI RICERCA, i cui risultati sono sintetizzati in Figura 1 (vedi sopra), è risultato che con temperatura dell'acqua di ritorno superiore a 50°C il rendimento della caldaia a condensazione scende a valori dell'ordine del 85%, molto simili a quelli ottenibili con una caldaia convenzionale, di costo nettamente inferiore.

Le pompe di calore a compressione

L'utilizzo delle pompe di calore si presenta come una soluzione impiantistica molto interessante, sia per l'efficienza energetica intrinseca che la caratterizza, sia per la possibilità che queste macchine offrono di fornire entrambi i servizi di produzione di "caldo" e di "freddo". Di conseguenza, tale apparecchiatura si presenta particolarmente idonea per gli edifici che altrimenti necessiterebbero di un doppio impianto di climatizzazione, estivo ed invernale.

La pompa di calore permette di estrarre calore da sorgenti termiche a bassa temperatura, quali l'aria atmosferica oppure il terreno e le acque sotterranee (laddove si parla di pompe di calore geotermiche) o superficiali, elevandone il livello termico a valori utili per il riscaldamento invernale o per la produzione di acqua calda sanitaria. La stessa macchina, quando viene fatta funzionare in ciclo inverso, è in grado di estrarre calore dagli ambienti interni, riversandolo nell'ambiente circostante, svolgendo quindi la funzione di raffrescamento estivo.

Le pompe di calore che utilizzano i cicli cosiddetti "a compressione" devono essere azionate con energia elettrica o con un'altra fonte di energia meccanica (ad esempio un motore endotermico alimentato a gas naturale); esse utilizzano di conseguenza una quota di energia non rinnovabile ma, per le loro caratteristiche intrinseche, esse sono in grado di estrarre dall'ambiente una quantità di energia "rinnovabile" (che non è altro che calore di origine solare che si accumula nell'atmosfera, nell'acqua o nel suolo) molto maggiore di quella che consumano.

L'indice denominato COP (*coefficient of performance*) definisce l'efficienza di una pompa di calore ed è dato dal rapporto tra energia termica fornita ed energia consumata. Per cui, una pompa di calore che abbia un COP = 3,5, valore tipico delle macchine moderne, fornisce 3,5 kWh di energia termica per ogni kWh di energia consumata.

Analogamente, quando la pompa di calore lavora in configurazione di raffrescamento si definisce un indice di efficienza EER (*energy efficiency ratio*) come rapporto fra l'energia termica sottratta all'ambiente interno e l'energia spesa per azionare la macchina.

Supponendo che la pompa di calore sia azionata con energia elettrica e che questa sia prodotta con un'efficienza complessiva di produzione e trasmissione pari al 46%ⁱⁱ, si può dimostrare che il calore fornito dalla pompa di calore verrebbe prodotto con un'efficienza equivalente, in termini di energia primaria, pari al 160% circa, ben superiore a quella ottenibile anche con i migliori sistemi a combustione direttaⁱⁱⁱ.

Nella realtà, bisogna tener conto che il COP di una pompa di calore varia in funzione della temperatura della sorgente dalla quale viene estratto il calore ed anche in funzione della temperatura alla quale il calore viene fornito. E' cioè necessario valutare quali siano le prestazioni medie stagionali, invernali ed eventualmente estive, della macchina, le quali sono normalmente ben lontane (e quindi non soddisfacentemente rappresentate) dai valori nominali del COP o dell'EER; si ricorda che tali valori sono quelli indicati sulle etichette di certificazione energetica delle macchine (peraltro per il momento obbligatorie solo per le macchine di taglia fino a 12 kW_f), che sono ricavati in condizioni normate di prova delle macchine. Queste considerazioni sono particolarmente importanti quando si utilizzino pompe di calore ad aria, in quanto l'aria atmosferica subisce notevoli sbalzi di temperatura nel corso dell'anno, mentre possono essere meno rilevanti nel caso di utilizzo di pompe di calore che sfruttano il calore del terreno o dell'acqua di falda, che hanno valori quasi costanti nel corso dell'anno.

In generale si può osservare che il COP della pompa di calore è tanto più alto quanto minore è la differenza fra temperatura della sorgente esterna di calore e la temperatura interna degli ambienti da riscaldare (analoga considerazione vale in estate). Conseguentemente, le pompe di calore ad aria, che sono impiantisticamente le più semplici da installare, sono adatte per climi non troppo freddi (come quello italiano), mentre quelle ad acqua sono più adatte ai climi freddi (non a caso le pompe di calore geotermiche hanno finora avuto il loro sviluppo prevalente nei paesi del Nord Europa).

Similmente a quanto si è accennato per le caldaie a condensazione, è inoltre importante comprendere la necessità di adottare accurate modalità di progettazione per sistema di distribuzione del calore; in effetti, per ottenere le migliori prestazioni da una pompa di calore, è necessario che il calore sia prodotto e distribuito a temperatura relativamente bassa (tipicamente non superiore a 40-45°C) e siano quindi adottati terminali ottimizzati per tali temperature^{iv}.

Ritornando al problema della scelta della sorgente termica più conveniente per le pompe di calore, osserviamo che in una situazione ambientale quale quella italiana, caratterizzata da presenza di ingenti tratti costieri marini e lacustri, potrebbe essere interessante valutare l'utilizzo come sorgente termica dell'acqua di mare, di lago o della stessa falda acquifera. A fronte di indubbi vantaggi energetici, gli impianti a pompa di calore che utilizzano calore geotermico o quello di corpi idrici superficiali presentano tuttora aspetti problematici, legati ai maggiori oneri impiantistici, manutentivi (possibili maggiori problemi di corrosione) e normativi. Inoltre è da valutare con cura anche il consumo di energia necessario, in tal caso, per il pompaggio dell'acqua. Tale consumo può essere rilevante e può quindi far diminuire sensibilmente l'effettivo rendimento energetico dell'impianto. Citiamo, a titolo di esempio, il caso di un grosso impianto a pompe di calore ad acqua di falda situato a Milano, che CESI RICERCA ha monitorato per un'intera stagione, nel quale si è misurato che il consumo di energia delle pompe di emungimento e circolazione dell'acqua di falda è pari a ben il 26% del consumo totale, con una conseguente notevole diminuzione dell'efficienza complessiva dal 2,91 teorico al 2,15 effettivo (vedasi una sintesi del bilancio energetico invernale in Tabella 1)

Tabella 1: Bilancio energetico invernale per un impianto a pompe di calore elettriche ad acqua di falda

	Valore	Valore %
Energia termica totale fornita dalle n. 5 PdC (kWh _t)	2.529.320	100
Energia elettrica totale consumata dall'impianto (kWh _e)	1.177.281	100
Energia elettrica consumata dalle PdC (kWh _e)	868.480	74
Energia elettrica consumata dalle pompe pozzo e di circolazione (kWh _e)	308.801	26
Valore netto complessivo del COP delle n. 5 PdC (tra parentesi l'intervallo di valori misurati sulle varie macchine)	2,91 (2,85 - 3,36)	
Valore lordo complessivo del COP dell'impianto	2,15	
Valore netto e lordo del PER (Primary Energy Ratio) (*)	1,33 - 0,99	

(*) Determinato con coefficiente di conversione $0,187 \cdot 10^{-3}$ tep/kWh_e (Delibera AEEG n. EEN 3/08)

Le pompe di calore ad assorbimento

Esistono altri tipi di pompe di calore basate su un diverso ciclo termodinamico, che non utilizza un compressore ma il lavoro chimico prodotto dal passaggio in soluzione di sostanze quali il bromuro di litio o l'ammoniaca. Tale ciclo, di *assorbimento* e *desorbimento*, richiede la somministrazione alla macchina di calore ad alta temperatura, prodotto bruciando gas naturale oppure ricavato da cascami termici di altri processi o prodotto con pannelli solari.

La pompa di calore ad assorbimento può anch'essa funzionare in ciclo inverso ed essere quindi utilizzata per le esigenze estive di raffrescamento, ma fornisce le migliori prestazioni energetiche in riscaldamento, essendo per giunta in grado di mantenere un buon COP a temperature ambientali più basse di quelle ottimali per le macchine a compressione. In effetti, il COP delle pompe di calore ad assorbimento può essere molto buono (il rendimento complessivo rispetto all'energia primaria occorrente è dell'ordine del 170% contro il 160% delle macchine a compressione), ma l'EER è nel migliore dei casi, per le macchine cosiddette reversibili o a doppio effetto, di poco superiore ad 1.

Sebbene il vantaggio energetico delle pompe di calore ad assorbimento non sia dunque entusiasmante quando utilizzate con funzioni di raffrescamento, tali macchine possono ugualmente apportare vantaggi di altro tipo, se si considerano alcuni aspetti economici indotti. Il funzionamento di tali apparecchiature nella stagione estiva consente, infatti, uno sfruttamento ottimale della fonte energetica gas naturale, la cui disponibilità in tale stagione è maggiore, tanto che non sono infrequenti i casi di esercenti disposti ad offrire delle tariffe agevolate per incentivare il consumo stagionale di gas. Inoltre, sempre nella stagione estiva, il ridotto consumo di energia elettrica delle macchine ad assorbimento ne ripropone gli aspetti competitivi rispetto a quelle a compressione per il considerevole minore sovraccarico delle reti elettriche, che nelle stagioni calde sta portando ormai a picchi di potenza maggiori di quelli invernali.

Un sostanziale recupero di rendimento complessivo rispetto all'energia primaria può ottenersi invece mediante l'utilizzo di calore proveniente da cascami termici di altri processi (ad esempio da cicli di cogenerazione termica-elettrica, dando origine in tal caso a cicli cosiddetti di *tri-generazione*) oppure risultante da energia solare. In quest'ultimo caso la tecnologia risultante da tale associazione, che utilizza l'energia solare per l'esigenze di raffrescamento estivo, porta a realizzare impianti cosiddetti di *solar-cooling*. Questa tecnologia è ormai ben sperimentata, anche se commercialmente non completamente consolidata; non è peraltro possibile utilizzare dei semplici pannelli solari piani (quelli usualmente utilizzati per la produzione di acqua calda sanitaria), in quanto il livello termico con essi ottenibile non è sufficiente ad attivare i cicli ad assorbimento; per tali ragioni, il costo e la complicazione impiantistica per l'utilizzo di altri tipi di pannelli solari sono tuttora piuttosto elevati^v.

Obblighi e incentivi

Un cenno conclusivo viene qui dedicato ad alcuni esempi di obblighi ed incentivi vigenti a livello nazionale o locale nel campo del risparmio energetico applicato alla climatizzazione.

Al di là degli impegni nazionali che l'Italia ha assunto per l'applicazione della Direttiva europea 2006/32/CE sull'efficienza energetica e i servizi energetici (un risparmio di circa 46 TWh/anno con le apparecchiature per la climatizzazione nel settore civile al 2016), sussistono obblighi di risparmio a più breve termine, quantificabili in 6 Mtep/anno al 2012, sui consumi

complessivi di energia elettrica e gas per usi finali; tali obblighi possono essere soddisfatti anche con azioni^{vi} mirate ad una più efficiente climatizzazione (quali ad esempio l'adozione di caldaie a condensazione e l'utilizzo di condizionatori efficienti).

A livello nazionale è poi noto che fino al 2010 sono usufruibili i benefici fiscali previsti nelle leggi finanziarie 2007-2008, che riguardano sia le persone fisiche sia i titolari di redditi di impresa. I limiti di spesa sui quali si applicano le detrazioni d'imposta del 55% previsti in queste leggi sono, per ciascuna unità edilizia, 100.000€ per la riqualificazione energetica globale dell'edificio, 60.000€ per gli infissi e le pareti opache, 60.000€ per i pannelli solari per l'acqua calda sanitaria, 30.000€ per le caldaie a condensazione e le pompe di calore.

Tali importi sono di sicuro interesse per gli immobili residenziali privati, anche per la semplicità delle procedure necessarie ad ottenere le detrazioni; essi possono peraltro essere meno interessanti per edifici di maggiori dimensioni, quali quelli tipici del settore terziario. Alcune Regioni, ad esempio quelle in cui la risorsa turistica è di grande importanza e dove quindi il settore alberghiero presenta una valenza fortemente strategica, hanno colto gli aspetti di urgenza sociale ed economica di tale tematica ed hanno allora promosso ulteriori incentivi (ed eventualmente imposto ulteriori obblighi) specificamente rivolti al settore ricettivo. In particolare, la Regione Emilia-Romagna ha emesso recentemente delibere e bandi per la concessione, in conto capitale od interessi, di contributi a progetti innovativi nel campo delle tecnologie energetico ambientali nelle piccole medie imprese, comprese le imprese alberghiere. Dal canto suo la Regione Marche, ha emesso un regolamento che introduce obblighi, per le strutture ricettive alberghiere, di utilizzo di parte dell'energia elettrica consumata da fonti rinnovabili, oltre che altri obblighi indiretti di risparmio.

Conclusioni

In conclusione, si può affermare con certezza che esiste una buona scelta di tecnologie efficienti e consolidate per la climatizzazione delle strutture civili (delle quali sono stati brevemente forniti alcuni esempi) ed è quindi tecnicamente poco plausibile il perseguimento di soluzioni impiantistiche predefinite o standardizzate, mentre in questo settore risulta maggiormente vantaggiosa e premiante una progettazione orientata quanto più possibile all'ottimizzazione, caso per caso, dell'intero "sistema" edificio-impianto.

Tecnologie emergenti in Italia, come quelle delle pompe di calore, di sicuro interesse dal punto di vista dell'efficienza energetica, vanno seriamente valutate, ma il calcolo del rapporto costo/benefici e del ritorno economico dell'investimento va fatto in maniera mirata alla specifica situazione progettuale in considerazione.

Nella scelta fra le varie soluzioni possibili bisogna tenere bene in conto la "convenienza energetica", sul medio periodo, assieme a quella economica: infatti, la tendenza in crescita del costo della bolletta energetica ormai in atto, nonostante le volatilità riscontrate nell'anno in corso, è destinata rendere il rapporto benefici/costi delle tecnologie emergenti sempre più favorevole rispetto a quelle tradizionali.

Riferimenti bibliografici

L. Croci, G. Lapini, S. Viani, *Monitoraggio delle prestazioni energetiche "in campo" di elettrotecnologie efficienti per la climatizzazione degli edifici*, Ricerca di Sistema 2006-2008, Area USI FINALI, Rapporto 06007771, dicembre 2006

M. Alabiso, A. Capozza, L. Croci, G. Lapini, A. Martinelli, *Contributo all'applicazione della Direttiva europea sulla certificazione energetica degli edifici. Stato dell'arte ed indagini sull'illuminazione nel settore terziario e indagini su prestazioni di sistemi di riscaldamento*, Ricerca di Sistema 2006-2008, Area USI FINALI, Rapporto 07003769, febbraio 2008

A. Capozza, L. Croci, G. Lapini, *Attività sperimentali di monitoraggio ed accertamento delle prestazioni di apparecchiature*, Ricerca di Sistema 2006-2008, Area USI FINALI, Rapporto 08002998, febbraio 2009

W. Grattieri, G. Lapini, *Abitare con meno energia*, QualEnergia, maggio/giugno 2008

ⁱNell'ambito dell'Accordo di Programma tra CESI RICERCA ed il Ministero dello Sviluppo Economico - D.G.E.R.M. stipulato in data 21 giugno 2007 in ottemperanza del DL n.73, 18 giugno 2007.

ⁱⁱValore desumibile dalla Delibera dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas n. EEN 3/08.

ⁱⁱⁱNon desti stupore l'esistenza di un rendimento superiore al 100% che, in conseguenza della sua definizione (rapporto tra energia utile ed energia spesa), evidenzia il fatto che una pompa di calore sostanzialmente rigenera del calore già esistente nell'ambiente, da bassa ad alta temperatura, mentre una caldaia a combustione diretta "crea" calore a partire da energia chimica.

^{iv}Esistono in ogni caso anche pompe di calore, in genere di grossa potenza, ottimizzate per temperature di mandata di 80-90°C, come quelle utilizzate in alcuni sistemi di teleriscaldamento che sfruttano come sorgente termica l'acqua di falda.

^vIl ciclo a bromuro di litio necessita di temperature dell'ordine di almeno 100-110°C ottenibili solo con pannelli a tubi evacuati, mentre quello ad ammoniacca necessita di temperature di almeno 180°C, ottenibili solo con pannelli a concentrazione.

^{vi}Tali azioni tra l'altro sono quelle che consentono di maturare i cosiddetti *certificati bianchi* e di alimentarne il mercato nazionale.