

PIANO ENERGETICO E AMBIENTALE DEL COMUNE DI PERUGIA

III FASE - PIANO DEFINITIVO

SCHEDA TECNICA C3) IMPIEGO DI TECNOLOGIE AD ALTA EFFICIENZA C3.c) POMPE DI CALORE

STATO DELL'ARTE

Generalità

L'energia impiegata nel settore civile (residenziale e terziario) per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua sanitaria, rappresenta circa il 20% del consumo energetico totale italiano. Tale energia è prodotta, per la quasi totalità, da combustibili, liquidi e gassosi, con conseguenti problemi energetici e ambientali e alla salute dell'uomo. Le nuove esigenze legate al miglior standard di vita comportano l'utilizzazione del condizionamento non solo degli ambienti di lavoro, ma anche delle abitazioni, con conseguenti aumenti dei consumi energetici. La pompa di calore, grazie alla sua capacità di funzionare anche come condizionatore d'aria, rappresenta un mezzo per migliorare il livello di comfort degli ambienti abitativi e di lavoro e può costituire un utile strumento per conseguire significativi risparmi energetici, e quindi economici, limitando anche le emissioni di inquinanti a livello locale.

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta, questa può funzionare sia elettricamente (sistema a compressione) sia con calore prelevato dai combustibili fossili o da altre fonti termiche quali il sole (sistema ad assorbimento). In pratica l'apparecchio funziona come un comune frigorifero e la pompa di calore attualmente più diffusa nel mondo è quella a compressione, azionata elettricamente.

La pompa di calore è costituita da un circuito chiuso, percorso da uno speciale fluido (frigorifero) che, a seconda delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore.

Il circuito chiuso è costituito da: un compressore, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore. Il condensatore e l'evaporatore sono costituiti da scambiatori di calore, cioè tubi posti a contatto con un fluido di servizio (che può essere acqua o aria) nei quali scorre il fluido frigorifero. Questo cede calore al condensatore e lo sottrae all'evaporatore. I componenti del circuito possono essere sia raggruppati in un unico blocco, sia divisi in due parti (sistemi "SPLIT") raccordate dai tubi nei quali circola il fluido frigorifero. Nel funzionamento il fluido frigorifero, all'interno del circuito, subisce le seguenti trasformazioni:

- **compressione:** il fluido frigorifero allo stato gassoso e a bassa pressione, proveniente dall'evaporatore, viene portato ad alta pressione; nella compressione si riscalda assorbendo una certa quantità di calore;
- **condensazione:** il fluido frigorifero, proveniente dal compressore, passa dallo stato gassoso a quello liquido cedendo calore all'esterno;
- **espansione:** passando attraverso la valvola di espansione il fluido frigorifero liquido si trasforma parzialmente in vapore e si raffredda;
- **evaporazione:** il fluido frigorifero assorbe calore dall'esterno ed evapora completamente.

L'insieme di queste trasformazioni costituisce il ciclo della pompa di calore: fornendo energia con il compressore, al fluido frigorifero, questo, nell'evaporatore, assorbe calore dal mezzo circostante e, tramite il condensatore, lo cede al mezzo da riscaldare.

Il mezzo esterno da cui si estrae calore è detto **sorgente fredda**. Nella pompa di calore il fluido frigorifero assorbe calore dalla sorgente fredda tramite l'evaporatore. Le principali sorgenti fredde sono:

- **l'aria:** esterna al locale dove è installata la pompa di calore oppure estratta dal locale dove è installata la pompa di calore. L'aria come sorgente fredda ha il vantaggio di essere disponibile ovunque; tuttavia la potenza resa dalla pompa di calore diminuisce con la temperatura della sorgente. Nel caso si utilizzi l'aria esterna, è necessario (intorno a 0°C), un sistema di sbrinamento che comporta un ulteriore consumo di energia. Diverso e più vantaggioso, è l'impiego come sorgente fredda dell'aria interna viziata (aria estratta) che deve essere comunque rinnovata.
- **l'acqua:** di falda, di fiume, di lago quando questa è presente in prossimità dei locali da riscaldare e a ridotta profondità. Un'altra sorgente può essere costituita dall'acqua accumulata in serbatoi e riscaldata dalla radiazione solare; l'acqua come sorgente fredda garantisce le prestazioni della pompa di calore senza risentire delle condizioni climatiche esterne; tuttavia richiede un costo addizionale dovuto al sistema di adduzione. Grazie alla sua temperatura approssimativamente costante durante tutto l'anno, l'acqua derivante da falde freatiche rappresenta una buona fonte di

(Segue stato dell'arte)

calore per un riscaldamento a pompa di calore. Ma possono essere utilizzate come fonti di calore anche le acque superficiali di laghi, fiumi e torrenti, come anche le acque reflue;

- **il terreno**, nel quale vengono inserite le tubazioni relative all'evaporatore. **Il terreno**, come sorgente fredda ha il vantaggio di subire minori sbalzi di temperatura rispetto all'aria. Le tubazioni orizzontali vanno interrate ad una profondità minima da 1 a 1,5 metri per non risentire troppo delle variazioni di temperatura dell'aria esterna e mantenere i benefici effetti dell'insolazione. È necessaria una estensione di terreno da 2 a 3 volte superiore alla superficie dei locali da riscaldare. Si tratta quindi di una soluzione costosa, sia per il terreno necessario che per la complessità dell'impianto.

L'aria o l'acqua da riscaldare sono detti **pozzo caldo**. Nel condensatore il fluido frigorigeno cede al pozzo caldo sia il calore prelevato dalla sorgente fredda che l'energia fornita dal compressore. Il calore può essere ceduto all'ambiente attraverso:

- **ventilconvettori**, costituiti da armadietti nei quali l'aria viene fatta circolare sopra corpi scaldanti;
- **serpentine** inserite nel pavimento, nelle quali circola acqua calda;
- **canalizzazioni**, che trasferiscono direttamente il calore prodotto dalla pompa di calore ai diversi locali.

Le pompe di calore si distinguono in base alla sorgente fredda e al pozzo caldo che utilizzano. Possono quindi essere del tipo: **ARIA-ACQUA, ARIA-ARIA, ACQUA-ACQUA, ACQUA-ARIA**.

Un'altra classificazione delle pompe di calore per la climatizzazione, è possibile secondo la taglia della macchina. Sono in commercio diversi tipi di pompa di calore con diverse potenze, così classificabili:

- **PICCOLA POTENZA** (fino a circa 2 kW). Sono adatte a monolocali, utilizzabili anche per il riscaldamento dell'acqua sanitaria. Possono essere **monoblocco** (tutti i componenti sono raggruppati insieme) o **split**. L'impianto è composto da un'*unità Esterna*, costituita dal compressore e da uno scambiatore di calore che ha la funzione di evaporatore o condensatore e un'*unità Interna*, costituita da un armadietto dal quale viene immessa nell'ambiente aria calda o fresca, a seconda dei casi. Il sistema così composto permette di installare le parti più rumorose dell'impianto in una zona esterna all'ambiente da climatizzare;
- **MEDIA POTENZA** (da 10 a 20 kW). Sono adatte a servire più locali, possono essere **monoblocco** o **multisplit**. L'impianto è composto da un'*unità Esterna*, costituita dal compressore e da uno scambiatore di calore, che ha la funzione di evaporatore o condensatore e da *unità Interne*, costituite da più armadietti, regolati singolarmente, dai quali viene immessa negli ambienti aria calda o fresca, a seconda dei casi. Il sistema così composto permette di installare le parti più rumorose dell'impianto in una zona esterna all'ambiente da climatizzare;
- **GRANDE POTENZA** (oltre 20 kW). Sono progettate per più appartamenti, per uffici e per esercizi commerciali. Esse sono composte da **unità motocondensanti esterne** che producono l'acqua calda e l'acqua refrigerata; e **ventilconvettori o Fan-Coils**, ovvero mobiletti interni che immettono negli ambienti aria calda d'inverno o aria fresca d'estate e provvedono a mantenere una temperatura di comfort anche nelle stagioni intermedie.

Nella scelta della pompa di calore, come abbiamo visto, occorre considerare le caratteristiche climatiche del luogo dove viene installata, le caratteristiche tipologiche dell'edificio e le condizioni di impiego.

Le caratteristiche climatiche hanno importanza soprattutto qualora la sorgente fredda sia l'aria esterna; si può infatti avere, durante il periodo invernale, la formazione di brina sull'evaporatore, con conseguente cattivo scambio termico. Per ovviare a questo inconveniente la pompa di calore è dotata di un dispositivo di sbrinamento (ad esempio una resistenza elettrica). Tale problema tuttavia non si presenta se si utilizza, come sorgente fredda, aria estratta o acqua.

Le caratteristiche tipologiche dell'edificio influenzano altresì la scelta del tipo di pompa di calore per gli spazi disponibili. La scelta influenzata anche dalle condizioni di impiego nei diversi ambienti, ad esempio se l'ambiente è destinato a residenza o ad attività non rumorosa, è preferibile una pompa di calore di tipo "split".

Applicazioni

Le possibili applicazioni della pompa di calore sono la climatizzazione e il riscaldamento degli ambienti e il riscaldamento dell'acqua sanitaria.

È ormai attuale l'applicazione della pompa di calore per la **climatizzazione degli ambienti** nel settore residenziale e nel terziario (esercizi commerciali di medie dimensioni; parrucchieri; cucine di ristoranti; studi professionali), in alternativa ai sistemi convenzionali composti da refrigeratore più caldaia. La stessa macchina infatti, mediante una semplice valvola, è in grado di scambiare tra loro le funzioni dell'evaporatore e del condensatore, fornendo così calore in inverno e freddo in estate (tipo Invertibile).

L'applicazione della pompa di calore alla climatizzazione ambientale (riscaldamento + raffrescamento) è la più conveniente poiché comporta un minor tempo di ammortamento del costo d'impianto rispetto ad un

(Segue stato dell'arte)

utilizzo per il solo riscaldamento. Nel caso di edifici esistenti, l'applicazione della pompa di calore per il condizionamento degli ambienti, sia invernale che estivo, richiede un intervento di ristrutturazione dell'intero impianto termico ed elettrico, con conseguente maggior costo. Diverse sono le applicazioni della pompa di calore nei settori terziario e industriale, ad esempio: la climatizzazione delle piscine, l'essiccazione e processi tecnologici a bassa temperatura nell'industria agro-alimentare, ecc.

La pompa di calore può essere utilizzata anche per la sola **produzione di calore per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua sanitaria**. In questi casi vanno attentamente valutati gli aspetti economici rispetto ai sistemi tradizionali quali caldaie e scaldabagni elettrici o a gas.

Per il riscaldamento degli ambienti gli impianti possono essere di tipo **monovalente o bivalente**. Si utilizza la configurazione **monovalente** quando la pompa di calore è in grado di coprire interamente il fabbisogno termico necessario al riscaldamento degli ambienti. Se la pompa di calore usa come sorgente l'aria esterna, tale configurazione è adottabile nelle zone climatiche dove la temperatura esterna scende raramente sotto ai 0° C. In caso contrario si deve realizzare un sistema **bivalente**, costituito dalla pompa di calore e da un sistema di riscaldamento ausiliario, cioè una caldaia tradizionale che copra il fabbisogno termico quando la temperatura dell'aria scende solo al di sotto di 0° C. Per il riscaldamento dell'acqua sanitaria occorrono serbatoi di accumulo più grandi di quelli impiegati nei normali scaldacqua in quanto la temperatura dell'acqua prodotta non supera i 55° C.

Costi

Ai fini del contenimento dei costi di impianto e di esercizio è molto importante il dimensionamento dell'impianto a pompa di calore. Il dimensionamento richiede un'accurata valutazione dei fabbisogni di calore: una valutazione in eccesso, con sovradimensionamento della pompa di calore, comporta un incremento dei costi di impianto e quindi una riduzione dei vantaggi economici che derivano dal suo impiego.

Una pompa di calore a ciclo invertibile ha una capacità di raffrescamento di poco inferiore a quella di riscaldamento, pertanto il dimensionamento dell'impianto di climatizzazione va fatto, in generale, sulle esigenze di raffrescamento.

Il fabbisogno di calore dipende dalla localizzazione geografica dell'utenza: particolare attenzione va posta per le pompe di calore che impiegano l'aria quale sorgente esterna, in quanto il calore erogato diminuisce al diminuire della temperatura di questa. È bene verificare che la temperatura minima di funzionamento della pompa di calore, nella località in cui viene installata, non sia inferiore a quella minima raggiungibile dall'aria esterna. In caso contrario sarà necessario usare una caldaia ad integrazione con conseguenti costi maggiori sia di impianto che di esercizio.

Un parametro indicativo della convenienza economica di una pompa di calore rispetto ad un sistema tradizionale (caldaia più refrigeratore) è il tempo di ritorno attualizzato, cioè il tempo necessario perché i risparmi attualizzati, derivanti dai costi di gestione, siano pari al sovracosto iniziale della pompa di calore.

Per la generalità dei casi, si può sostenere che si ha convenienza economica, se si impiega la pompa di calore per la climatizzazione, mentre tale convenienza si riduce notevolmente nelle applicazioni per sola produzione di acqua calda sanitaria e riscaldamento.

Le economie conseguibili nella climatizzazione degli ambienti con l'utilizzo della pompa di calore si riferiscono al minor consumo che questa consente, rispetto al sistema convenzionale (caldaia) nel periodo invernale. I consumi estivi per il raffrescamento ambientale sono uguali sia che venga utilizzata la pompa di calore che il tradizionale condizionatore. Per il solo riscaldamento ambientale, le numerose configurazioni impiantistiche non consentono una sintesi di validità generale, tuttavia si può affermare che, ai costi attuali dei combustibili e dell'energia elettrica, il tempo di ritorno è superiore ad otto anni. Nel caso di utilizzo della pompa di calore anche per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria i tempi di ritorno dell'investimento sono superiori a 4 anni.

È necessario inoltre prevedere un contratto elettrico con un impegno di potenza tale da garantire il funzionamento della pompa di calore prescelta (superiore ai 3 kW generalmente previsti per le utenze domestiche), ciò comporta maggiori spese per contratti che prevedono maggiore potenza impegnata.

Le spese dovute alla manutenzione non sono in genere molto elevate. Alcuni interventi di ordinaria manutenzione che sono indispensabili per il buon funzionamento della pompa di calore possono essere effettuati direttamente dall'utente ad intervalli regolari di tempo: pulizia dell'evaporatore e del condensatore, pulizia dei filtri e pulizia del tubo di scarico della condensa.

Un altro fattore che incide sui costi di impianto e di gestione è l'assenza del camino rispetto ai sistemi a caldaia, vengono così eliminate anche le operazioni periodiche di pulizia.

RISVOLTI ENERGETICI, AMBIENTALI E SOCIO – ECONOMICI

Risvolti energetici

Nel corso del suo funzionamento, la pompa di calore:

- consuma energia elettrica nel compressore (sistema elettrico a compressione);
- assorbe calore nell'evaporatore, dal mezzo circostante, che può essere aria o acqua;
- cede calore al mezzo da riscaldare nel condensatore (aria o acqua).

Il vantaggio nell'uso della pompa di calore deriva dalla sua capacità di fornire più energia (calore) di quella elettrica impiegata per il suo funzionamento in quanto estrae calore dall'ambiente esterno (aria-acqua). L'efficienza di una pompa di calore è misurata dal coefficiente di prestazione "C.O.P." che è il rapporto tra energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata. Il C.O.P. è variabile a seconda del tipo di pompa di calore e delle condizioni di funzionamento ed ha, in genere, valori prossimi a 3. Questo vuol dire che per 1 kWh di energia elettrica consumato, fornirà 3 kWh (2.580 kcal) di calore al mezzo da riscaldare. Il C.O.P. sarà tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura a cui il calore viene ceduto (nel condensatore) e quanto più alta quella della sorgente da cui viene assorbito (nell'evaporatore). Questi vantaggi delle pompe di calore sono ancora più consistenti se si pensa che l'energia utile ottenibile tramite i prodotti energetici fossili quali l'olio combustibile, il gas o il carbone per il riscaldamento è sempre minore del loro effettivo contenuto energetico. Per ottenere un'energia termica pari a 100 occorre bruciare prodotti con un contenuto energetico pari a circa 120, con il relativo carico ambientale. Al di sotto di una temperatura compresa tra -2°C e +2°C la pompa di calore si disattiva, in quanto le sue prestazioni si ridurrebbero significativamente. Va tenuto conto inoltre che la potenza termica resa dalla pompa di calore dipende dalla temperatura a cui la stessa assorbe calore.

Risvolti ambientali

Dal punto di vista energetico, la pompa di calore comporta vantaggi notevoli che si traducono in una significativa riduzione dell'impatto ambientale. La direttiva europea 28/2009/CE sulla promozione dell'uso delle energie rinnovabili, recepita in Italia con il Decreto Legislativo 28/2011, propone il calcolo della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili per la pompa di calore. Essa infatti, come precedentemente mostrato, estrae calore dall'ambiente esterno potendo sfruttare le seguenti forme di energia rinnovabile: energia aerotermica (energia accumulata dall'ambiente esterno sotto forma di calore), energia geotermica (energia accumulata sotto forma di calore sotto la crosta terrestre) ed energia idrotermica (energia immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore).

La quota di energia prodotta da fonti rinnovabili E_{res} , secondo la normativa potrà essere calcolata con la seguente equazione:

$$E_{res} = Q_{usable} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right)$$

in cui Q_{usable} è il calore stimato prodotto da pompe di calore, SPF è il fattore di rendimento medio stagionale stimato per tali pompe (di fatto il C.O.P. medio stagionale). Per l'applicazione di questa equazione la normativa prevede una limitazione alle pompe di calore il cui rendimento finale di energia eccede in maniera significativa l'apporto energetico primario necessario per far funzionare la macchina. In termini algebrici tale condizione, per le pompe di calore elettriche (maggiormente diffuse), si traduce:

$$SPF > 1,15 \cdot \left(\frac{1}{\eta}\right)$$

dove η è il rapporto tra la produzione totale lorda di elettricità e il consumo di energia primaria per la produzione di energia e sarà calcolato come media a livello UE sulla base dei dati Eurostat (convenzionalmente fissato pari a 0,40 in tutta Europa). Tale disequazione determina quindi l'applicazione del calcolo della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili per pompe di calore elettriche che hanno un C.O.P. medio stagionale al di sopra di 2,875. Per le pompe di calore di differente tecnologia da quella elettrica il termine η si assume pari a 1.

Ipotizzando di avere pompe di calore con SPF pari a 3,5, per ogni kWh termico prodotto con tale tecnologia, se ne spendono 1/3,5 elettrici. Ricordando che per produrre un kWh elettrico vengono emessi nell'aria circa 500 g di anidride carbonica, per ottenere il kWh termico dalla pompa di calore, si producono in atmosfera: $500/3,5 = 143 \text{ gCO}_{2eq}/\text{kWh}$. Se si tiene conto che per produrre un kWh termico con un generatore costruito con tecnologie all'avanguardia si emettono circa $186 \text{ gCO}_{2eq}/\text{kWh}$, con le pompe di calore si ottiene una riduzione di **43 gCO_{2eq}/kWh**.

ATTUABILITÀ NEL TERRITORIO COMUNALE

La soluzione impiantistica con pompe di calore si è diffusa negli ultimi anni nelle nuove costruzioni. Un forte incentivo allo sviluppo di questa tecnologia è rappresentato dall'introduzione di specifici articoli, prescrizioni e incentivazioni della stessa all'interno del Regolamento Edilizio Comunale. Particolare attenzione dovrebbe essere posta ai seguenti aspetti applicativi:

- nei centri storici, al fine di evitare il proliferare di sistemi di raffrescamento con appendici in esterno di forte impatto visivo;
- nella nuova edilizia di qualità, sia residenziale che terziaria, per affiancare ai significativi vantaggi energetici e ambientali l'effetto di miglioramento estetico delle facciate esterne (libere dai gruppi di condizionamento)

Nel territorio comunale l'impiego di pompe di calore geotermiche è potenzialmente possibile in ogni nuova costruzione, compatibilmente con i limiti fisici (spazio a disposizione) e autorizzativi associati alla realizzazione dei pozzi.

Tenendo conto della media annua di ristrutturazioni che prevedono la sostituzione dei generatori di calore e considerando lo sviluppo edilizio legato al nuovo PRG, è ragionevole supporre una potenzialità di 3.000 nuovi generatori all'anno su cui intervenire con tecnologie all'avanguardia, suddivisi equamente fra caldaie ad alta efficienza (1.500) e pompe di calore (1.500).

NOTE