



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Annex 48 IEA "Casi di studio di sistemi a pompa di calore per edifici del terziario"

M. Masoero, C. Silvi, J. Toniolo

ANNEX 48 IEA " CASI DI STUDIO DI SISTEMI A POMPA DI CALORE PER EDIFICI DEL TERZIARIO

M. Masoero, C. Silvi, J. Toniolo

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi finali

Tema: "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

Responsabile Tema: Gaetano Fasano- ENEA

Indice

I.	INTRODUZIONE.....	.....
II.	PANORAMICA DEI CASI STUDIO .....	.....
III.	COMMISSIONING HP SYSTEM.....	.....
1	ASPETTI GENERALI DEL COMMISSIONING.....	.....
2	ASPETTI CONTRATTUALI DEL COMMISSIONING.....	.....
3	STRUMENTAZIONE .....	.....
4	CONDIZIONI DELL’EDIFICIO PER IL COMMISSIONING .....	.....
5	RACCOLTA E MEMORIZZAZIONE DEI DATI .....	.....
6	LA PROCEDURA DI COMMISSIONING.....	.....
IV.	CONCLUSIONI .....	.....
V.	BIBLIOGRAFIA .....	.....

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

LEGENDA

ABBREVIAZIONI

ACB	<i>Active Chilled Beam</i> – trave fredda attiva
ACS	Acqua calda sanitaria
BEMS	<i>Building Energy Management System</i> – sistema telematico di supervisione, usato per controllare, monitorare e gestire l'energia in un edificio
BMS	<i>Building Management System</i> – sistema telematico di supervisione, usato per la gestione e il controllo degli impianti meccanici, elettrici e di sicurezza dell'edificio
CA	<i>Commissioning Agent</i> – Operatore del <i>commissioning</i>
Cx	<i>Commissioning</i>
Cx-P	<i>Commissioning Process</i> - procedura di <i>commissioning</i>
DX	<i>Direct Expansion</i> - espansione diretta
ESCO	<i>Energy Service Company</i> – società di servizi energetici
FCU	<i>Fan Coil Unit</i> - terminale ventilconvettore
GSHP	<i>Ground Source Heat Pump</i> - pompa di calore geotermica
HP	<i>Heat Pump</i> - pompa di calore
HX	<i>Heat exchanger</i> - scambiatore di calore
HVAC	<i>Heating, Ventilating, Air conditioning</i> - impianto di riscaldamento, ventilazione, condizionamento dell'aria
I-Cx	<i>Initial Commissioning</i> - <i>commissioning</i> iniziale
On-Going-Cx	<i>On-Going Commissioning</i> - <i>commissioning</i> continuo
PCM	<i>Phase Change Material</i> - materiale in cambiamento di fase
Re-Cx	<i>Re-Commissioning</i> - nuovo <i>commissioning</i>
Retro-Cx	<i>Retro-Commissioning</i> - <i>commissioning</i> dopo revisione
TABS	<i>Thermally Activated Building Systems</i> – pannelli radianti
UTA	Unità di trattamento aria
VAV	<i>Variable Air Volume</i> – impianto a portata d'aria variabile
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow (heat pump system)</i> - macchina a portata di refrigerante variabile (sistema a pompa di calore)

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

I. Introduzione

Questa relazione presenta i risultati dei casi di studio di impianti a pompa di calore per la climatizzazione di edifici del terziario, che sono stati sviluppati dagli enti partecipanti al progetto di ricerca dell'International Energy Agency – Implementing Agreement Energy Conservation in Buildings and Community Systems (IEA-ECBCS) denominato Annex 48 "Heat Pumping and Reversible Air Conditioning".

Lo scopo del progetto è di promuovere soluzioni efficienti per sistemi a pompa di calore in edifici del terziario, al fine di risparmiare energia primaria e ridurre le emissioni di CO₂. I casi studio hanno preso in esame sia interventi di ristrutturazione energetica (*retrofit*) di edifici esistenti, sia impianti installati in nuove costruzioni. Nell'ambito del progetto, il Dipartimento di Energetica Politecnico di Torino è stato responsabile dell'impostazione, coordinamento e documentazione finale dei citati casi studio.

In totale si sono elaborati 13 casi studio (7 sistemi rinnovati mediante *retrofit*, 5 edifici nuovi, un impianto prototipo), riportati in Tabella 1, con la seguente distribuzione geografica:

- B (Belgio): 3
- F (Francia): 3
- G (Germania): 1
- I (Italia): 5
- C (Cina): 1

I casi studio riguardano le seguenti tipologie di impianti:

Sistemi reversibili¹:

- | | |
|--|------------|
| • Sistema reversibile HP aria – acqua | F1, B1, B2 |
| • Sistema reversibile HP acqua - acqua | I4 |
| • Sistema reversibile HP geotermica acqua - salamoia | G1, I3 |
| • Sistema reversibile HP ad acqua di falda | I4 |
| • Sistema reversibile HP ad acqua di superficie | I1 |
| • Sistema HP geotermica a DX | |
| • Sistema HP con recupero dell'aria di espulsione | |
| • Sistema HP aria - aria | B2 |

Sistemi reversibili con recupero termico

- | | |
|--|--------|
| • Sistema reversibile HP aria – acqua | F1, B3 |
| • Sistema reversibile HP geotermica con recupero di calore | F2, B2 |
| • Sistema HP ad acqua di falda con recupero di calore | |
| • Sistema HP ad acqua di superficie con recupero di calore | |
| • Split / multi-split / VRF | I2, C1 |
| • Sistema HP ad anello liquido | I5, B2 |

Sistemi con recupero termico

- | | |
|---|--------|
| • Refrigeratore d'acqua con recupero di calore | |
| • Refrigeratore d'acqua con doppio condensatore | B1, B2 |
| • Amplificatore di temperatura | |

¹ In questo documento, il termine "reversibile" indica la possibilità che il sistema possa operare sia in riscaldamento, sia in raffreddamento: ciò può avvenire attraverso un'inversione del ciclo termodinamico (internamente alla macchina), sia attraverso opportune commutazioni del circuito acqua (esternamente alla macchina). Il termine non ha quindi alcuna attinenza al concetto di reversibilità del processo termodinamico e alla produzione di entropia associata alle relative trasformazioni.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Alcuni casi studio (come B2) hanno permesso il confronto, mediante simulazione, di diverse soluzioni d'impianto; in altri casi, lo studio si è concentrato sul monitoraggio sperimentale. In Appendice a questa relazione si riportano le relazioni dettagliate di 11 casi studio.

Il documento discute inoltre le problematiche di *commissioning* dei sistemi a pompa di calore che sono state individuate ed affrontate nell'arco del progetto di ricerca.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Tabella 1 – Riassunto dei casi di studio

n.	Stato	Ubicazione	Edificio	Tipologia impiantistica	Relatore	Note e riferimenti [tra parentesi]
B1	Belgio	Liège	Laboratori + uffici	Caldaia a gas + refrigeratore d'acqua. HVAC: Tutt'aria (Laboratori); Aria-acqua a 4 tubi (Uffici).	Ulg	Costruzione nel 2003. Monitoraggio fino al 2005. Simulazioni per confrontare diversi interventi di <i>retrofit</i> : HP reversibile, recupero dell'aria di espulsione, umidificazione, ventilatori a portata variabile [1, 2, 3, 4, 12]
B2	Belgio	Charleroi	Uffici	Caldaia a gas + refrigeratore d'acqua. HVAC: Aria-acqua con FCU a 4 tubi.	Ulg	Costruzione anni '80. Monitoraggio fino al 2005. Le opzioni di <i>retrofit</i> si valuteranno mediante ulteriore monitoraggio e simulazioni.
B3	Belgio	Brussels	Uffici	Studio sulla possibilità di recupero termico.	Ulg	Costruzione nel 1995. Necessarie simulazioni dell'edificio per valutare le possibilità di recupero termico.
C1	Cina	Beijing	Uffici	Raffrescamento mediante refrigeratore d'acqua e teleriscaldamento invernale. <i>Retrofit</i> : sostituzione del refrigeratore d'acqua con VRF.	Tsinghua	Palazzina uffici. Costruzione anni '80. Ristrutturazione con <i>retrofit</i> .
F1	Francia	Lyon	Uffici	HP aria - acqua + caldaia a gas. FCU a 2 tubi. Ventilazione per sola immissione con possibilità di <i>free cooling</i> notturno.	INES	<i>Retrofit</i> di un edificio esistente per il centro direzionale ALLP.
F2	Francia	Anncy	Uffici	GSHP con riscaldamento / raffrescamento a soffitto radiante. Ventilazione meccanica con recupero termico sull'aria di espulsione.	INES	Palazzina uffici CAUE74.
F3	Francia	Rennes	Hotel	HP reversibile con recupero termico.	INSA	Prototipo realizzato in INSA Rennes [6]
G1	Germania	Muenster	Uffici	GSHP con accumulo di acqua calda / fredda. Riscaldamento / raffrescamento a pavimento radiante. Ventilazione naturale.	TEB	Nuovo edificio LVM in costruzione durante il progetto; occupazione a partire dal giugno 2008.
I1	Italia	Brasimone	Uffici + sala conferenze	HP reversibile acqua - acqua ad anello aperto. HVAC misto aria - acqua con FCU. BMS	PoliTO	Centro formazione ENEA - ENEL [8] (information***).
I2	Italia	Torino	Uffici	VRF reversibile (2 tubi / 3 tubi). Ventilazione meccanica in alcune zone.	PoliTO	Sede Regione Piemonte. Edificio del secolo XVII parzialmente ricostruito nel dopoguerra. Impianto VRF installato nel 2002. Monitoraggio dal 2006 [10, 11]
I3	Italia	Chieri	Uffici	GSHP con accumulo in cambiamento di fase. HVAC misto aria - acqua (FCU o ACB).	PoliTO	Centro direzionale EIDOS realizzato nell'autunno 2007. Intervento e monitoraggio iniziati a febbraio 2008 [9].
I4	Italia	Milano	Uffici + sala esposizione + ristorante	HP acqua - acqua con recupero termico (4 tubi).	PoliTO	Edificio industriale ristrutturato. [5]
I5	Italia	Piemonte	Centri commerciali	Caldaia a gas tradizionale + refrigeratore d'acqua raffreddato ad aria con HP ad anello d'acqua.	PoliTO	Due centri commerciali uguali, ubicati in località con clima simile, dotati di impianti HVAC diversi [7].

II. Panoramica dei casi studio

Belgio CS n. 1: Edificio laboratori a Liegi

L'edificio, costruito nel 2003 presso Liegi (Belgio), è occupato da una società farmaceutica. Le due zone principali dell'edificio sono uffici (1600 m²) e laboratori (1500 m²). L'impianto HVAC consiste essenzialmente in UTA a portata costante che forniscono aria condizionata alle diverse zone attraverso una rete di canali; al piano degli uffici sono previsti ventilconvettori per il controllo locale della temperatura. Il BEMS gestisce le variabili necessarie per mettere in atto la strategia di controllo. La centrale termica consiste in due caldaie a gas a condensazione (da 300 kW ciascuna). Per la produzione di acqua fredda si utilizza una macchina con compressore orbitale raffreddata ad aria, con una capacità totale refrigerante di 400 kW.

L'obiettivo iniziale di questo studio era di analizzare le potenzialità di risparmio energetico dell'edificio. Si sono studiate le opportunità di risparmio energetico realizzabili con due soluzioni a pompa di calore, a confronto con la situazione precedente. I casi analizzati sono quindi:

- impianto preesistente;
- uso di un sistema con recupero termico sull'aria estratta come sorgente di calore per la produzione di acqua calda;
- sostituzione del sistema passivo di recupero di calore esistente aria – aria con un sistema attivo a pompa di calore.

Per la zona uffici, un adattamento della procedura di accensione risulta sufficiente a garantire le condizioni di benessere per lunghi periodi di occupazione. Per i laboratori si è adottata una tecnica di commutazione per ottenere il funzionamento delle batterie della UTA con acqua calda a bassa temperatura (50°C) invece che ad alta temperatura (80°C). Con questa tecnica si sfruttano le superfici di scambio termico già installate e disponibili (come le batterie fredde) per farle funzionare come batterie calde addizionali; è preferibile il collegamento delle batterie in serie. L'associazione delle due modifiche descritte (adattamento della procedura di accensione e tecnica di riconversione) consente all'impianto di funzionare con acqua calda a bassa temperatura per realizzare le condizioni di benessere. I maggiori costi collegati alle prime opzioni di *retrofit* si devono alle modifiche della rete acqua e alla sostituzione del refrigeratore d'acqua con un refrigeratore con doppio condensatore.

La realizzazione della seconda opzione di *retrofit* (pompa di calore ad espansione diretta aria – aria), mentre non richiede nessuna modifica al circuito dell'acqua, implica invece un intervento più consistente sul sistema di ventilazione e la rete aria, con conseguenti costi addizionali. In termini di energia primaria, entrambe le soluzioni offrono buone prestazioni e interessanti prospettive di risparmio energetico (circa il 9%).

Belgio CS n. 2: Palazzina uffici a Charleroi

Questa palazzina uffici è stata costruita a Charleroi (Belgio) alla fine degli anni '80. Dei 9 piani della costruzione, se ne sono studiati solo 4, per i quali era possibile effettuare un bilancio energetico. L'impianto HVAC consiste essenzialmente in una UTA che fornisce aria trattata agli uffici attraverso una rete di condotte. Nei 4 piani, inoltre, sono distribuite 31 batterie di post – riscaldamento. Gli occupanti possono così regolare i valori di setpoint della temperatura per adattarla alle condizioni di benessere locale con un intervallo di valori pari a $\pm 3^{\circ}\text{C}$ intorno a un valore fissato (21°C). Il BEMS gestisce le variabili necessarie per mettere in atto la strategia di controllo. La centrale termica consiste in tre caldaie tradizionali a gas (da 318 kW ciascuna). Due macchine frigorifere con compressori a pistoncini garantiscono una capacità di refrigerazione di 245 kW.

Scopo dell'*audit* e del monitoraggio era innanzi tutto comprendere le modalità operative dell'impianto HVAC dell'edificio. Il processo è risultato inoltre molto utile per la messa a punto di un lavoro di simulazione effettuato in una fase precedente ("calibrazione" del modello). Naturalmente il monitoraggio è risultato essenziale per evidenziare le principali possibilità di risparmio energetico ed, infine, per valutare le potenzialità di utilizzazione del refrigeratore d'acqua in modo reversibile.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Questo caso studio è risultato molto istruttivo sotto vari aspetti:

- Il monitoraggio è molto importante per una verifica incrociata con le informazioni fornite dal gestore dell'energia e dal BEMS. Ipotesi errate sul sistema conducono a una previsione dei consumi energetici molto lontana dalla realtà.
- Se è necessario, si possono ottenere risparmi energetici molto consistenti mediante piccoli interventi sull'impianto o sull'edificio, prima di pensare ad un sistema reversibile. Nel nostro caso, l'adozione di un sistema reversibile nell'edificio così com'era non avrebbe avuto senso.
- Anche gli aspetti economici risultano essenziali. E' indispensabile valutare con attenzione gli investimenti, soprattutto in questo periodo, data la situazione economica attuale.
- La valutazione dei consumi dei sistemi reversibili, anche dal punto di vista teorico, è cruciale. Il progetto di sistemi nuovi o di *retrofit* nel futuro potrà trarre profitto da questi risultati.
- Si è realizzata una simulazione dinamica particolareggiata che comprende il primario, il secondario e il sistema di controllo per analizzare con grande dettaglio le interazioni tra i vari componenti.

Belgio CS n. 3: Edificio ministeriale a Bruxelles

L'edificio del Consiglio Europeo fu costruito nel 1995 su una superficie di 40000 m², con circa 54000 m² di superficie utile, distribuita su 10 piani. L'edificio si compone di due parti principali: l'edificio Conferenze (25000 m²) e la Segreteria Generale (29000 m²).

L'edificio Conferenze si trova nella parte più alta, distribuito su sette piani e tre mezzanini. Comprende principalmente sale riunioni con cabine per gli interpreti, sale per conferenza e cerimonie e uffici per le delegazioni, ma anche tre ristoranti e un bar. La sua occupazione massima è di circa 3500 persone.

I carichi termici dell'edificio in oggetto sono caratterizzati da richieste di riscaldamento e raffrescamento contemporanei durante buona parte dell'anno. L'obiettivo di questo studio è stato di quantificare le possibilità di recupero termico e identificare le tecnologie più opportune per ottenerlo. Con il recupero termico si possono ridurre i consumi di combustibile delle caldaie e quindi le emissioni di CO₂.

Per valutare le potenzialità di recupero termico e di riduzione delle emissioni di CO₂ si è sviluppato un modello dell'impianto frigorifero.

I risultati della simulazione prevedono una riduzione limitata della produzione di CO₂ (18%), che si può spiegare con il fatto che solo il 36% del carico termico (caldo) è soddisfatto da pompe di calore a recupero termico. I profili dei carichi termici (caldo) e frigoriferi (freddo) limitano l'impiego delle pompe di calore a recupero termico. Un edificio caratterizzato da un valore costante ed elevato del carico frigorifero sull'arco dell'anno (come ad esempio quello relativo ad un centro elaborazione dati) sarebbe più adatto all'uso delle pompe di calore a recupero termico.

Cina CS n. 1: Palazzina uffici rinnovata mediante *retrofit* con impianto VRF

Questo caso riguarda i risultati di una campagna di misure in campo di una palazzina uffici di medie dimensioni costruita a Beijing (Cina) nel 2005. I piani sono 8 in totale, compreso un piano interrato, con una superficie totale dell'edificio pari a 15797 m².

Circa 50 persone occupano ciascun piano dalle 8 del mattino alle 6 del pomeriggio, 5 giorni alla settimana. Dopo l'intervento di *retrofit* nel 2003, sono stati installate nell'edificio 24 unità VRF (KX series by Mitsubishi Heavy Industry Co. Ltd.) e una UTA per il trattamento dell'aria di rinnovo. Gli apparecchi sono principalmente utilizzati per il raffrescamento, ma offrono il loro contributo anche in fase di riscaldamento, in aiuto alla caldaia per la produzione di acqua calda. La potenza frigorifera del

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

sistema VRF è di 480 HP. Un totale di 263 unità interne sono distribuite lungo gli 8 piani e l'impostazione delle temperature può essere effettuata in maniera indipendente dagli occupanti. Il valore suggerito è di 26°C. Per la maggior parte degli impianti non è presente una UTA, per cui i rinnovi di aria si realizzano per ventilazione naturale, direttamente mediante l'apertura delle finestre.

Lo scopo dell'*audit* e del monitoraggio di questo edificio è stato di valutare la sua efficienza energetica, in particolare quella dell'impianto HVAC, dopo il *retrofit* realizzato nel 2003. Si tratta di un esempio tipico dell'uso di unità VRF in una palazzina uffici di medie dimensioni, ed è necessario sottoporre a *audit* il loro funzionamento per identificare eventuali ulteriori misure di *retrofit* per migliorare in un passo successivo l'efficienza energetica dell'edificio.

Francia CS n. 1: Palazzina uffici ristrutturata con *retrofit* a Lyon, dotata di pompa di calore aria – acqua.

L'edificio è stato costruito nel 1974. La società ALLP si stabilì in loco nel 2004. Si installò una nuova caldaia a gas da 350 kW. Il consumo energetico annuo per il riscaldamento risultò di circa 140 kWh/m²; uno dei principali problemi messi in evidenza dal nuovo proprietario erano le cattive condizioni ambientali estive (per esempio nel giugno del 2005 in un ufficio si rilevò una temperatura di 34 °C in ufficio al primo piano orientato a sud).

I principali obiettivi della ristrutturazione erano di raggiungere un valore di 50 kWh/m² di energia primaria, su base annua, per alimentare l'impianto di climatizzazione, e una riduzione di un fattore 4 delle emissioni CO₂, a fronte di un miglioramento del clima interno e della soddisfazione degli utenti. Studi di sensibilità basati su simulazioni dinamiche hanno determinato le scelte tecniche. Per il controllo dell'efficienza del funzionamento del sistema dopo la ristrutturazione, si è attuata una campagna di rilevamento dell'uso dell'energia e del clima interno.

Alla caldaia a gas esistente si è affiancata una pompa di calore reversibile. Si è dimensionata di circa 100 kW, che corrispondono alle necessità di raffrescamento. La caldaia provvede al riscaldamento quando la pompa di calore non è in grado di fornire l'energia termica necessaria (quando la temperatura esterna è troppo bassa). I radiatori esistenti sono stati sostituiti da ventilconvettori integrati nel controsoffitto. Questa soluzione consente di ottenere temperature di distribuzione più basse e, allo stesso tempo, migliori prestazioni per la pompa di calore.

Francia CS n. 2: Palazzina uffici con GHSP

Questo caso studio presenta una simulazione per un edificio nuovo con pompa di calore ad acqua di falda.

La superficie lorda è di 550 m², la struttura è tradizionale in calcestruzzo, costituita da pilastri, travi e solette. Il progetto comprende un sistema a soffitto radiante con pompa di calore ad acqua di falda.

Francia CS n. 3: Pompa di calore per riscaldamento e refrigerazione simultanei

Questo caso studio riguarda la progettazione, la costruzione, l'analisi del funzionamento e la simulazione di una pompa di calore per riscaldamento e refrigerazione simultanei (HPS).

La HPS, oltre che per produrre contemporaneamente acqua calda e fredda, può anche essere fatta funzionare in modalità solo riscaldamento o solo refrigerazione, utilizzando l'aria come sorgente termica.

In modalità riscaldamento una parte dell'energia recuperata nel desurriscaldamento si accumula in acqua, per poi essere utilizzata come sorgente per l'evaporatore. Questo meccanismo rende possibile migliorare le prestazioni invernali e mettere in atto una procedura innovativa per lo sbrinamento dell'evaporatore a espansione diretta.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Per convalidare queste ipotesi progettuali si è costruito un prototipo a R407C. Si è effettuato poi uno studio per la simulazione delle prestazioni annuali di un hotel di 45 camere, per varie ubicazioni e diversi profili di occupazione, mediante il codice TRNSYS: i risparmi di energia elettrica variano tra il 15 e il 50%; l'incremento nell'efficienza del sistema su base annua può arrivare al 19%.

Lo studio sperimentale aveva l'obiettivo di convalidare le ipotesi progettuali. Si sono provate con successo la tecnica di sbrinamento bifase a termosifone e le commutazioni tra le modalità operative. Si sono misurate le prestazioni dell'impianto e si sono quindi confrontate con i dati forniti dal programma di scelta del costruttore del compressore. Si è trovato un buon accordo tra i dati teorici e quelli sperimentali. La mancanza di ottimizzazione di alcuni componenti dell'impianto (evaporatore lato acqua, serpentina lato aria) rende poco significativi i risultati riguardanti le prestazioni stagionali.

Si sta costruendo un secondo prototipo per valutare sperimentalmente l'efficienza su base annua e per caratterizzare, nel dettaglio, la tecnica di sbrinamento a termosifone. Si deve anche definire una strategia di controllo ottima per il risparmio energetico.

Questo prototipo costituisce un passo avanti rispetto alla tecnologia delle pompe di calore reversibili, in quanto produce energia termica simultaneamente per il riscaldamento e la refrigerazione. Occorre proseguire nella ricerca per progettare sistemi ancora più efficienti per gli edifici del futuro.

Germania CS n. 1: Palazzina uffici nuova/ristrutturata con GSHP per riscaldamento e raffrescamento

Il palazzo uffici LVM è una combinazione di un edificio nuovo (superficie di 10000 m², terminato nell'agosto del 2008) con uno ristrutturato (superficie di 4000 m², terminato nel febbraio del 2010).

Un sistema a pompa di calore geotermica reversibile (che eroga 500 kW in riscaldamento e 450 kW in raffrescamento) fornisce acqua calda e fredda all'impianto a pannelli radianti integrato nelle solette. Per permettere il riscaldamento e il raffrescamento simultaneo in diversi locali dell'edificio si è installato un impianto a 3 tubi.

Lo scambiatore di calore geotermico consiste di 91 sonde a U, ciascuna profonda 100 m, ubicate sotto il parcheggio delle auto. I fori sono riempiti di materiale ad alta conducibilità per garantire un contatto ottimale con il terreno. Le sonde sono riempite di acqua glicolata e sono collegate attraverso due collettori alla pompa di calore.

Si è introdotta una nuova strategia di controllo per i sistemi a pannelli radianti. Mediante un codice di calcolo si sono simulati l'edificio, i pannelli radianti, il controllo e gli scambiatori di calore a sonde geotermiche. Per verificare il comportamento energetico dell'edificio, il consumo di energia e il benessere termico, si è installato un sistema di monitoraggio.

Poiché il sistema nella sua globalità si è completato con il *commissioning* dell'edificio ristrutturato solo nel febbraio 2010, il monitoraggio fornisce dati completi e affidabili soltanto a partire da pochi mesi fa. I primi risultati dell'analisi mostrano condizioni stabili della temperatura del terreno e un lungo periodo di *free cooling* in estate.

Italia CS n. 1: Palazzina con pompa di calore reversibile ad acqua di lago per riscaldamento e raffrescamento

Il centro di ricerca del Brasimone fu fondato nei primi anni '60 dal CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare) —successivamente divenuto ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile)— sulla riva est di un lago artificiale al servizio di una vicina centrale idroelettrica dell'ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica). Il centro si trova sull'Appennino, a metà strada tra Bologna e Firenze, alla quota di 846 m s.l.m. Il caso studio riguarda una palazzina uffici (1800 m³) che ospita anche una superficie espositiva e una sala conferenze.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Nel 2005 l'impianto HVAC dell'edificio è stato completamente rinnovato. Questo caso studio presenta i risultati di una campagna di misure sull'impianto svolta durante la prima estate di funzionamento (maggio - settembre 2006). L'impianto è del tipo misto aria - acqua (con aria primaria e ventilconvettori a due tubi). La pompa di calore reversibile acqua - acqua produce acqua calda e fredda utilizzando l'acqua del lago come sorgente / pozzo di calore. Il BEMS, di nuova installazione, permette il monitoraggio continuo dei principali parametri di funzionamento del sistema.

La pompa di calore acqua - acqua reversibile fornisce una potenza termica massima di 60 kW (refrigerazione tra 7 e 12°C) e di 68 kW (riscaldamento tra 40 e 45°C). Il recupero del calore di condensazione in modalità refrigerazione si effettua mediante un condensatore dedicato. Nel circuito secondario fluisce acqua glicolata per evitare i rischi di congelamento. La caldaia a gasolio esistente è stata conservata per i casi di emergenza.

Sulla base dei dati misurati, si sono analizzate le prestazioni della pompa di calore nel periodo aprile - settembre 2006. Il COP medio stagionale è risultato pari a 3,9; si è trovata una buona correlazione tra l'energia frigorifera giornaliera e la temperatura dell'aria esterna. Si è inoltre considerata la distribuzione statistica del fattore di carico della pompa di calore, che si è dimostrato piuttosto basso, soprattutto a causa del limitato utilizzo della sala conferenze nel periodo di indagine.

Italia CS n. 2: Impianto con HP VRF reversibile aria-aria in un edificio del XVII secolo ristrutturato adibito a uffici

Gli uffici della Presidenza della Regione Piemonte sono ubicati in un edificio del XVII secolo che, poco dopo la Seconda Guerra Mondiale, è stato quasi completamente ricostruito. Nel 2006, la società di servizi energetici (ESCO) incaricata della gestione dell'edificio ha effettuato una ristrutturazione radicale dei servizi energetici, installando nelle zone uffici un impianto a pompa di calore aria-aria del tipo VRF. La ventilazione meccanica è prevista solo in alcuni locali. Refrigeratori d'acqua raffreddati ad aria e caldaie a gas a condensazione producono l'acqua fredda / calda per le UTA.

Il BMS consente il monitoraggio remoto e il controllo dei servizi dell'edificio (HVAC, prevenzione incendi, sicurezza, illuminazione); in particolare, l'impianto di illuminazione è dotato di sistemi di misurazione della luce naturale e di rilevamento della presenza di persone. L'impianto modulare VRF utilizza 16 unità esterne montate in copertura, raffreddate ad aria. Uno dei due compressori orbitali presenti in ciascun modulo è sotto *inverter* per poter far variare la potenza frigorifera con continuità secondo il carico.

Le potenze nominali sono:

- riscaldamento 600 kWt (impianto VRF); 505 kWt (caldaia a condensazione per UTA, ACS)
- refrigerazione: 550 kWf (impianto VRF); 223 kWf (refrigeratore d'acqua per UTA)
- elettrica: 258 kW (unità esterne VRF)

I dati dei consumi stagionali acquisiti indicano possibili miglioramenti mediante una diversa strategia di controllo del sistema.

Italia CS n. 3: Impianto a pompa di calore con sonda geotermica e accumulo a cambiamento di fase per un nuovo edificio terziario/industriale

Questo caso studio esamina un recente edificio terziario/ industriale di 8805 m², di proprietà di una società privata, ubicato nell'Italia nord-occidentale, a 20 km SE di Torino. L'edificio ha struttura portante in cemento armato, facciate ventilate, serramenti con vetri basso-emissivi e una copertura del tipo "tetto verde".

Due pompe di calore reversibili acqua - acqua (94 kW in riscaldamento e 137 kW in raffrescamento ciascuna) forniscono acqua calda per la climatizzazione invernale e, per la climatizzazione estiva, acqua refrigerata + acqua calda ottenuta mediante recupero del calore di condensazione. Il terreno funge da sorgente / pozzo termico per le pompe di calore geotermiche mediante 32 sonde verticali

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

profonde 100 m. L'impianto è dotato di due serbatoi di accumulo in cambiamento di fase in sali eutettici (PCM), collegati in parallelo alle due pompe di calore (accumulo caldo: $V = 44 \text{ m}^3$ $T = 46^\circ\text{C}$; accumulo freddo: $V = 35 \text{ m}^3$ $T = 13^\circ\text{C}$).

L'impianto HVAC è di tipo misto aria - acqua con travi fredde attive nelle zone uffici e ventilconvettori montati a soffitto nelle zone produzione e magazzini. Tutte le pompe sono a portata variabile sotto controllo di *inverter*.

I dati rilevati dei consumi stagionali dimostrano che il sistema consuma persino meno di quanto ci si aspettasse, grazie anche a una costante ottimizzazione della strategia di controllo.

Italia CS n. 4: Pompa di calore multifunzione per riscaldamento e raffrescamento simultanei

Il comprensorio Santa Giulia comprende 5 edifici ed è ubicato nella zona sud di Milano, dove la falda è molto vicina al livello del terreno. La superficie totale interessata comprende circa 4500 m² di uffici, aree espositive, ristoranti, sale conferenze. I dati raccolti sul posto riguardano una macchina al servizio di una superficie di circa 1500 m²; altre due macchine multifunzione e due pompe di calore reversibili servono gli altri 4 edifici del complesso Santa Giulia.

Il sistema ha un circuito aperto, con sfruttamento diretto dell'energia geotermica. Adotta una soluzione semplice, ma efficace, che riduce notevolmente l'uso dell'acqua di falda: utilizza il serbatoio dell'impianto di estinzione incendi come accumulo inerziale; un sensore dedicato controlla costantemente la sua temperatura e, se il valore rilevato è al di fuori del campo ottimale, il serbatoio si svuota e si riempie nuovamente di acqua prelevata dal pozzo: si ripristinano così le condizioni ottimali. Il sistema comprende due pozzi (ad una temperatura quasi costante di 15°C durante tutto l'anno, ad una profondità media di 10-12 m), da cui si manda una portata d'acqua di 30 L/s al serbatoio di accumulo.

Il sistema di accumulo è contenuto nel serbatoio di riserva per l'impianto di estinzione incendi. Lo stesso serbatoio si utilizza anche per l'irrigazione. C'è una certa analogia con la filosofia del sistema dei circuiti dell'acqua: i carichi opposti (positivo / negativo) relativi a ciascun edificio sono soddisfatti da una macchina multifunzione, mentre a livello globale gli squilibri di energia dei singoli refrigeratori, grazie alla presenza del serbatoio di accumulo comune, possono compensarsi l'un l'altro. Questo meccanismo contribuisce a ridurre le necessità di rinnovo dell'acqua del serbatoio con acqua di falda.

Questo caso studio aveva un triplice obiettivo. Il primo era dimostrare, dall'analisi dei dati misurati sul sistema esistente e funzionante a pieno carico, che di frequente nei palazzi uffici si verificano carichi termici opposti simultanei. Il secondo obiettivo riguardava l'evidente convenienza di adottare macchine multifunzione per queste applicazioni, poiché sono in grado di soddisfare la richiesta di entrambi gli scambiatori di calore presenti nel ciclo frigorifero, senza sprechi di energia. Il terzo obiettivo era dimostrare gli effetti dello sviluppo tecnologico nel campo della climatizzazione; lo sviluppo tecnico negli ultimi 5 anni, infatti, ha promosso l'introduzione sul mercato di nuove macchine con compressori orbitali, scambiatori di calore ad alta efficienza e logiche di controllo avanzate che hanno incrementato notevolmente l'efficienza, e quindi la convenienza economica, di queste macchine.

Italia CS n. 5: Impianto con pompe di calore ad anello liquido per un centro commerciale

Questo caso studio confronta due diversi sistemi HVAC installati in due edifici di analoga destinazione (centri commerciali appartenenti alla stessa catena), identiche dimensioni (14000 m² di superficie climatizzata), e carichi termici di progetto simili (4500 kW in riscaldamento, 2330 kW in raffrescamento). In entrambi i casi, la vasta superficie del supermercato è climatizzata con un sistema a tutt'aria, mentre i negozi nel centro commerciale sono serviti da macchine dedicate.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Nel "caso di riferimento" la produzione dell'acqua calda è affidata a due caldaie a gas, mentre quella dell'acqua fredda a due refrigeratori d'acqua elettrici con compressori a vite. L'acqua fredda / calda è distribuita alle UTA dell'impianto a tutt'aria e alle macchine dedicate dei negozi, che possono essere o unità *roof-top* o piccole unità canalizzate, a seconda delle dimensioni e dall'ubicazione dei locali.

Nel "caso ottimizzato" è presente un impianto a pompa di calore ad anello liquido. L'anello d'acqua riceve il calore di condensazione dei frigoriferi adibiti alla refrigerazione degli alimenti ed è dotato anche di una caldaia di integrazione a gas; il flusso termico di scarico dall'anello si smaltisce mediante torri evaporative. L'anello d'acqua è collegato a 62 pompe di calore distribuite, che, a loro volta, possono essere UTA, unità *roof-top*, o piccole unità canalizzate, a seconda delle dimensioni e dall'ubicazione.

Dal confronto dei dati di consumo dei due centri commerciali per gli stessi periodi di riscaldamento e raffrescamento (anno 2007) si deduce che il consumo di gas del "caso ottimizzato" era inferiore circa del 50% rispetto a quello del "caso di riferimento"; per l'energia elettrica totale, i risparmi erano circa del 20%. Sulla base di questi dati, i costi addizionali, relativi all'installazione dell'anello d'acqua, presentano un tempo di ritorno dell'investimento di 3,5 anni.

III. Commissioning degli impianti a pompa di calore

L'Annex 48 centra la sua attenzione sul *commissioning* degli impianti a pompa di calore; quindi, gli aspetti di dettaglio dei componenti secondari (per esempio le unità di trattamento aria, la rete aria, i terminali ad acqua, ecc.) non sono stati esaminati in modo specifico, se non per quanto riguarda quelli in relazione con il funzionamento delle pompe di calore. Lo scopo fondamentale del *commissioning* dell'impianto è di completare l'intero processo, che comincia con il progetto e finisce con l'installazione del sistema. La responsabilità a questo punto ricade sul proprietario dell'edificio, che vuole sapere se ha ottenuto ciò che ha ordinato. Questo riduce o minimizza le sorprese al termine del processo.

1 Aspetti generali del *commissioning*

Il *commissioning* degli impianti HVAC è stato l'oggetto dell'IEA-ECBCS Annex 40, "Commissioning of Building HVAC Systems for Improved Energy Performance" e della sua continuazione Annex 47 "Cost-effective Commissioning for Existing and Low Energy Buildings". Quindi si fa riferimento alla terminologia, all'approccio, agli strumenti e ai risultati di questi progetti.

La definizione di *commissioning* (Cx) data nel documento finale dell'Annex 40 è:

Il commissioning significa precisare i requisiti imposti dal proprietario dell'edificio per le prestazioni dell'impianto, verificare i diversi giudizi e le azioni delle varie parti coinvolte nel commissioning al fine di ottenere tali prestazioni, produrre una documentazione necessaria e sufficiente e verificare che il sistema renda possibile la corretta conduzione e manutenzione mediante prove di funzionalità. Il commissioning si dovrebbe realizzare durante tutta la vita dell'edificio.

Il commissioning si esegue sotto la supervisione di un Operatore di Commissioning qualificato (Commissioning Agent, CA) allo scopo di assicurare che gli impianti dell'edificio sono progettati, installati e provati dal punto di vista funzionale, e sono in condizioni di essere sottoposti a interventi di conduzione e manutenzione, in modo tale da ottenere prestazioni ottimali dal punto di vista ambientale, energetico e dell'uso della struttura. Questi aspetti implicano mantenere l'ambiente interno in condizioni igieniche e confortevoli, minimizzare la quantità di energia consumata ed emessa, conservare l'ambiente urbano / globale, rendere possibile la manutenzione degli impianti dell'edificio e garantire ad essi una lunga durata.

Il documento dell'Annex 40 distingue inoltre tra quattro diversi tipi di attività di *commissioning*:

Initial Commissioning (I-Cx): L'I-Cx è un processo sistematico applicato alla produzione di un nuovo edificio e / o all'installazione di nuovi impianti che inizia con lo stadio della progettazione e si conclude con lo stadio della approvazione. Nei casi di installazione di nuovi dispositivi in un edificio esistente (per esempio, installazione di un impianto di raffrescamento in un edificio esistente che in precedenza era solo dotato di un impianto di riscaldamento), si dovrebbe fare riferimento a un I-Cx. Fondamentalmente, l'ambito del processo di *commissioning* (CxP) che si va a realizzare dipende dai desideri del proprietario e può essere definito in un contratto tra il proprietario e il CA.

Retro-Commissioning (Retro-Cx): Il Retro-Cx è il primo *commissioning* in un edificio esistente in cui non era stato effettuato un CxP documentato. In vari casi i documenti del progetto dell'edificio esistente sono andati persi o non sono conformi alla situazione attuale. Quindi il processo di Retro-Cx può o meno includere la verifica del progetto di cui nell'I-Cx.

Re-Commissioning (Re-Cx): Il Re-Cx è un CxP realizzato dopo il processo di I-Cx o di Retro-Cx quando il proprietario spera di verificare, migliorare e documentare le prestazioni degli impianti dell'edificio. Le ragioni di sottoporre un edificio a Re-Cx sono molteplici. Potrebbero derivare da una modifica dei requisiti dell'utenza, dal rilievo di cattive prestazioni del sistema, dal desiderio di rimediare ai difetti riscontrati durante l'I-Cx, ecc. Un Re-Cx periodico assicura che persistano le

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

prestazioni iniziali. Il Re-Cx è un’azione che riapplica il *commissioning* originale allo scopo di mantenere le prestazioni dell’impianto dell’edificio.

On-Going Commissioning (On-Going Cx): L’On-Going Cx è un CxP effettuato in modo continuo allo scopo di mantenere, migliorare e ottimizzare le prestazioni degli impianti dell’edificio dopo l’I-Cx o il Retro-Cx. La grande differenza tra On-Going Cx e Re-Cx periodici è che il Re-Cx fa riferimento alle prestazioni originali degli impianti dell’edificio, mentre l’On-Going Cx centra il suo interesse sull’ottimizzazione delle prestazioni. L’On-Going Cx è un CxP successivo, effettuato durante la fase di conduzione e manutenzione per risolvere problemi operativi, migliorare il benessere, ottimizzare l’uso dell’energia e suggerire interventi di *retrofit* se necessario.

Uno dei fattori chiave del *commissioning* —probabilmente il più importante— è la disponibilità di valori misurati delle prestazioni del sistema. Ciò conduce al concetto di “monitoraggio del sistema” che si può considerare come parte integrante del CxP. Ci sono fondamentalmente due approcci al monitoraggio del sistema:

- Monitoraggio permanente, che si può ottenere praticamente mediante l’uso del BMS esistente, a condizione che le caratteristiche del suo HW (*Hardware*) e del suo SW (*Software*) siano idonee allo scopo; questo è naturalmente l’unico approccio possibile per l’On-going Cx.
- Monitoraggio limitato nel tempo, che utilizza della strumentazione dedicata, installata con propositi specifici, a seconda delle caratteristiche del sistema e degli obiettivi del CxP.

I requisiti principali della strumentazione saranno discussi approfonditamente in questo documento.

Un altro aspetto importante del CxP è l’ottimizzazione della conduzione dell’impianto. Ciò risulta particolarmente importante per impianti innovativi e complessi, come spesso sono quelli con pompe di calore, in cui le prestazioni energetiche reali dipendono in modo sostanziale dall’efficacia dell’intervento del sistema di controllo.

2 Aspetti contrattuali del *commissioning*

Consegna

Dal punto di vista legale, il processo di *commissioning* (CxP) comincia con la consegna. Il CxP dovrebbe essere nominato nel contratto, al fine di chiarire le responsabilità e gli eventuali costi aggiuntivi per la procedura. Quindi è necessaria una descrizione dettagliata delle funzioni e delle caratteristiche dell’impianto e delle apparecchiature ritenute idonee a realizzare le prove per la verifica dei requisiti garantiti, se necessario. Per gli impianti a pompa di calore, sono di particolare interesse i seguenti aspetti:

- comportamento nei transitori;
- comportamento in condizioni estreme;
- interfaccia con i dispositivi di controllo.

La descrizione del CxP comprende le condizioni che si devono stabilire per l’impianto a pompa di calore al fine di verificare che operi in modo corretto, compresa la riproduzione di condizioni invernali ed estive, con un periodo di transizione. Per la procedura di prova in oggetto può essere utile disporre di un sistema di controllo con la possibilità di una simulazione (dati dei sensori, ciclo operativo di progetto). Può trattarsi di un sistema di controllo esterno supplementare, solo per il CxP, oppure può essere incluso come modalità speciale nel sistema di controllo normale, che può essere utilizzato anche per le prove successive.

Aspetti normativi

Rispetto alle leggi nazionali, è fissato un determinato livello di qualità del *commissioning*, ma ciò può non essere sufficiente per progetti di elevata qualità. Quindi, per evitare fraintendimenti da entrambe

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

le parti, il CxP deve essere descritto in dettaglio nel contratto, specificando le richieste del committente e gli aspetti tecnici del progetto da verificare in sede di *commissioning*.

Attualmente, fra i paesi che partecipano all'*Annex 48* (cioè in Italia e in Germania), raramente si specifica il CxP nei documenti del progetto; in generale, chi esegue il *commissioning* è l'installatore, indipendentemente dai requisiti del contratto, a volte sotto la supervisione dei progettisti.

Responsabilità e assistenza del progettista e del costruttore

Nell'ambito dei CxP, le caratteristiche garantite delle apparecchiature (specialmente le pompe di calore) dovrebbero essere sottoposte a prova in varie condizioni, cioè per diversi valori di temperatura dell'acqua, pressione, portate, commutazioni del funzionamento idraulico, ecc. Nella maggior parte dei casi, queste apparecchiature si trattano come "scatole nere": né il progettista, né gli installatori hanno la conoscenza e le informazioni dettagliate dei meccanismi interni di funzionamento. Un argomento particolare è il modo di operare del *software* di controllo, che verifica gli stati interni per motivi di sicurezza, oppure solamente per seguire una determinata strategia operativa del costruttore. A volte questa informazione non è accessibile in anticipo e il costruttore non ha intenzione di renderla pubblica. Nel CxP è necessario disporre di questo genere di informazione sull'interno della "scatola nera" per valutare le prestazioni dell'impianto. Il costruttore entra in gioco quando per il normale funzionamento oppure anche per l'ottimizzazione si rende assolutamente necessario intervenire sul *software* o sul *hardware*.

Completezza della documentazione

Essendo parte del CxP, al proprietario si consegna la documentazione completa dell'impianto tecnico, compreso il protocollo CxP. Oltre alla normale documentazione sul progetto tecnico, questo significa specialmente:

- il sistema di controllo: definizione, variabili di ingresso e di uscita, parametri;
- soluzioni di interfaccia;
- regolazioni idrauliche;
- percorso del segnale elettrico.

Il protocollo del *commissioning* dovrebbe contenere:

- una descrizione delle procedure di prova;
- possibili apparecchiature di prova aggiuntive;
- uno schema dell'intero sistema con i componenti elettrici e idraulici e i punti di misura;
- dati idraulici e termodinamici particolareggiati, quali: temperatura, potenza, portata;
- qualità del funzionamento: caduta di pressione, variazione di temperatura, accuratezza del controllo, efficienza energetica;
- confronto con i valori di riferimento contenuti nel progetto.

3 Strumentazione

Strumenti fissi e portatili

Gli strumenti fissi devono essere precisati durante la fase di progetto negli schemi dell'impianto. La loro funzione può essere soltanto a scopo di misura (ad esempio i misuratori di consumo elettrico), oppure può costituire una parte della logica di controllo del sistema (ad esempio i sensori di temperatura nel controllo termostatico). Nel secondo caso, gli strumenti possono talvolta essere forniti dal costruttore della pompa di calore e occorre accertare se esiste la possibilità di esportare i dati.

Per quanto riguarda gli strumenti portatili, il CA deve verificarne gli aspetti pratici dell'installazione nel sistema in oggetto; alcuni esempi di possibili problemi sono i seguenti:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

- Accesso al quadro elettrico per misurare il consumo elettrico dei principali componenti del sistema (compressori della macchina frigorifera, ventilatori, pompe, ecc.);
- Esistenza di prese di pressione nel circuito del fluido frigorifero della pompa di calore per la misura delle pressioni di condensazione ed evaporazione;
- Esistenza di punti di inserzione per i sensori di temperatura sui tubi (in alternativa, si può realizzare una misura con minore accuratezza con sonde a contatto).

Misuratori di elettricità

Ci sono fondamentalmente tre tipi di misuratori di elettricità che si possono utilizzare nel monitoraggio e nel *commissioning*:

- analizzatori di potenza: sono strumenti multifunzione, dotati di una memoria interna e con un SW dedicato per l'elaborazione dati, che può eseguire una vasta gamma di analisi, come: analisi del carico (assorbimento elettrico istantaneo attivo e reattivo), analisi energetica per intervalli di tempo particolari (ora o frazione di ora, giorno, mese, settimana, anno), analisi della qualità della potenza (distorsione armonica), ecc. Si installano normalmente sul quadro elettrico principale e si collegano ai cavi di potenza mediante connettori di dimensioni opportune, a seconda della potenza assorbita dall'apparecchio che si sta monitorando;
- registratori di energia: sono strumenti più semplici, che vanno installati sul quadro elettrico, dotati di un *display* digitale che indica l'assorbimento di potenza elettrica istantanea; normalmente non dispongono di una memoria interna, ma si possono interfacciare con un registratore esterno di dati;
- strumenti ancora più semplici sono misuratori *on-off* che registrano il tempo di funzionamento di un apparecchio elettrico; possono essere utili per monitorare componenti con consumo costante, come i motori elettrici a velocità costante.

Negli impianti a pompa di calore i misuratori elettrici servono per misurare i consumi elettrici di:

- compressori per il fluido frigorifero (in tutti i tipi di pompe di calore);
- ventilatore di evaporatore e condensatore di una pompa di calore ad aria (aria - aria o aria-acqua);
- pompe di circolazione dell'acqua del circuito primario (per esempio acqua di pozzo per un sistema a circuito aperto, acqua o salamoia nelle sonde geotermiche per una pompa di calore geotermica a circuito chiuso, ecc.);
- pompe di circolazione dell'acqua calda / fredda del circuito secondario.

Misuratori di portata

Le misure di portata costituiscono una fase essenziale nella valutazione delle prestazioni di qualsiasi impianto a pompa di calore. Mentre è spesso impossibile ottenere una misura affidabile della portata d'aria in un pompa di calore ad aria (a meno che il flusso dell'aria non sia canalizzato, circostanza comunque molto poco comune), si possono effettuare misure della portata d'acqua o con una strumentazione installata in modo permanente, oppure con misuratori portatili.

I misuratori di portata permanenti talvolta sono imposti in fase di progetto per la misura indiretta dell'energia termica, insieme con i sensori di temperatura dell'acqua sui lati di mandata e di ritorno di un determinato circuito idraulico (tipicamente sul secondario). I misuratori di portata più idonei per queste applicazioni appartengono alle seguenti categorie:

- misuratori del tipo a turbina, in cui si inserisce un dispositivo rotante nel tubo; la misura della portata avviene mediante un contatore a impulsi che determina la velocità di rotazione del sensore; questo tipo di strumento ha un'accuratezza tipica dell'1%;
-

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

- misuratori a contrazione della corrente (per esempio tubi di Venturi, diaframmi calibrati, eccetera); la variabile misurata dallo strumento è la pressione differenziale tra la sezione piena del condotto e quella ristretta, da cui si determina la portata di acqua sulla base della curva di taratura determinata in laboratorio; questi strumenti possono avere diversi livelli di accuratezza, a seconda del tipo.

Entrambi i misuratori descritti sono invasivi e la loro installazione dovrebbe pertanto essere stabilita al momento del progetto dell'impianto o in fase di costruzione.

Sul mercato sono anche disponibili dei sensori non invasivi che si possono utilizzare sia come strumentazione permanente, sia come dispositivi destinati allo svolgimento della procedura di *commissioning*. Questi strumenti si possono basare su sensori a ultrasuoni, consistenti in due trasduttori montati sulla parete esterna del tubo; la misura della velocità avviene mediante la registrazione del tempo di trasmissione degli ultrasuoni, che dipende dalla velocità del fluido. Questo tipo di sensori ha un'accuratezza tipica del 2%.

Raramente si prevede di effettuare misure permanenti delle portate d'aria. Durante il *commissioning*, si può misurare la portata d'aria con diversi tipi di strumenti, a seconda delle circostanze:

Le portate nelle condotte si misurano normalmente con tubi di Pitot o anemometri a filo caldo inseriti all'interno del canale; la misura si realizza in un tratto diritto della condotta, ad una distanza di almeno tre diametri equivalenti da qualsiasi singolarità che possa indurre turbolenze (ventilatore, curve, biforcazioni, serrande di bilanciamento, serrande taglia fuoco, batterie di post - riscaldamento, ecc.); occorre effettuare le misure in almeno 3 - 5 punti e calcolarne la media.

La portata in corrispondenza di diffusori e griglie di immissione ed estrazione di geometria semplice (per esempio rettangolari) si può valutare misurando la velocità in vari punti con il tubo di Pitot o un anemometro a filo caldo o a turbina. I risultati migliori, soprattutto per diffusori di geometria complessa, si ottengono con un deflettore che convoglia la portata d'aria verso una apposita sezione di misura.

Sensori di temperatura del fluido

I sensori di temperatura dell'acqua devono preferibilmente essere previsti in fase di progettazione / costruzione e installati in modo tale da ottenere un ottimo contatto termico con la portata di fluido. I sensori possono essere di tipo termocoppie, PRT (termoresistenze al platino) o termistori (circuiti integrati allo stato solido), con un'accuratezza tipica di $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (PT-100), $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ (termocoppie) e $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (termistori). Una procedura meno accurata, che è comunque la soluzione più pratica per eseguire misure su tubazioni esistenti, consiste nell'installare un termometro a contatto direttamente sulla superficie esterna del tubo di metallo.

L'installazione di un sensore di temperatura dell'aria è molto più semplice in pratica, ma occorre prestare una cura speciale nel minimizzare gli errori dovuti agli effetti della radiazione.

Simulazione del sensore

Per sottoporre a prova le prestazioni dell'impianto HVAC, come passo iniziale occorre assicurarsi, specialmente in caso di strategie di gestione parecchio sofisticate, che il sistema di controllo funzioni correttamente. Quindi gli ingressi del sistema di controllo si collegano con segnali riprodotti, simulati, come dati meteo (temperatura, radiazione solare) o idraulici (temperature, portate). Durante le prove, le uscite del sistema di controllo si possono confrontare con i valori teorici (e non solo in modo statico, ma anche dinamico).

In una fase successiva si può sottoporre a prova l'intero impianto HVAC con variabili di controllo simulate. Il punto critico è il carico dell'edificio. Se è necessario per il CxP, occorre simulare anche i carichi termici estivo e invernale (torri evaporative, riscaldatore).

4 Condizioni dell'edificio per il *commissioning*

Condizioni di progetto interne

Il monitoraggio dei parametri ambientali interni è essenziale per valutare le prestazioni effettive di un impianto HVAC. Sul mercato sono disponibili registratori di dati semplici, autoalimentati, con una memoria interna, adatti al monitoraggio a lungo termine della temperatura e dell'umidità relativa dell'ambiente. Si possono anche impiegare sensori di CO₂ per valutare l'efficienza dell'impianto di ventilazione. I parametri di benessere globale, come gli indici PMV e il PPD adottati nello standard EN ISO 7730 per ambienti termicamente moderati, possono essere misurati con una strumentazione apposita, se appare necessario per determinati requisiti del *commissioning*.

Condizioni di progetto esterne

Le centraline meteo esterne normalmente effettuano misure di temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento e, a volte, radiazione solare sul piano orizzontale. La conoscenza di questi dati (specialmente temperatura e umidità relativa) è di particolare utilità per l'interpretazione dei dati di prestazioni energetiche mediante alcuni strumenti ben noti, come la firma energetica, i diagrammi a tappeto (*carpet plot*), ecc.

Profili di occupazione

La tendenza odierna a costruire edifici con un involucro ad elevate prestazioni determina un'importanza crescente dei carichi endogeni nel bilancio termico degli edifici del terziario: le situazioni dominate dai carichi endogeni sono già abbastanza consuete nelle stagioni calde, ma stanno diventando via via più comuni anche in inverno. Il monitoraggio dei carichi endogeni (dovuti a luci e apparecchi elettrici, e alla presenza di persone) è quindi una funzione importante di un sistema di monitoraggio e non lo si dovrebbe trascurare durante la procedura di *commissioning*.

5 Raccolta e memorizzazione dei dati

Formato dei dati

I punti relativi ai dati si devono spiegare:

- commenti corti ed espressivi;
- punti di misura: quali sensori, misuratori, ecc. loro ubicazione nello schema funzionale dell'impianto;
- punti calcolati: quali ipotesi stanno dietro alla formula di calcolo;
- dati in unità SI;
- dati logici con il corrispondente intervallo;
- accuratezza.

I punti relativi ai dati consistono in:

- un unico nome;
- un intervallo temporale;
- il valore.

L'intervallo temporale deve avere ampiezza costante con un valore massimo di 15 minuti, senza lacune. Occorre riportare ogni avaria del sistema di acquisizione. I dati si possono immagazzinare in qualsiasi supporto per la registrazione. Tutti i dati dello stesso tipo devono avere lo stesso formato, cioè tempo, temperatura, portata, pressione, ecc. Bisogna utilizzare un formato leggibile: formato testo, .csv o formato excel.

Funzioni del BMS

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Se il BMS si utilizza per la raccolta e la registrazione dei dati, deve avere la funzionalità e la capacità di gestire un piccolo sistema di monitoraggio. Ciò implica la possibilità per l'utente di programmare in modo semplice una sequenza di acquisizione dati in tempo reale, maneggiare il traffico aggiuntivo sulla rete locale e gestire la memorizzazione e il trasferimento dei dati. Le interfacce HW e SW tra i sensori e il BMS devono essere comode e i trasferimenti elettrici devono essere protetti dalle interferenze (rumore elettrico).

Registratore di dati autonomo

Se si installa un sistema autonomo per la raccolta e la memorizzazione dei dati, questa apparecchiatura deve possedere le seguenti qualità:

- apparecchiatura commerciale, con manuale d'uso, rete di assistenza, ecc.;
- programmazione semplice;
- struttura idonea a prove di resistenza, sicurezza dalle interferenze;
- elevata accuratezza, calibrato;
- dilatabile;
- controllo remoto.

6 La procedura di *commissioning***Pianificazione della procedura di *commissioning***

Normalmente il *commissioning* si pianifica nella fase di costruzione, quando si rendono disponibili gli strumenti per la calibrazione e le misurazioni, necessari per il CxP. Generalmente si prepara un programma dettagliato delle prove, secondo la procedura generale di *commissioning*, comprese le *checklist* e i moduli di raccolta delle informazioni, adattati di volta in volta all'impianto oggetto del *commissioning*.

Verifica della qualità dell'impianto

Durante la costruzione dell'impianto devono essere controllati i seguenti aspetti:

- verifiche di conformità tra il progetto e la sua esecuzione, aderenza alle specifiche del progetto (p. es. diametri dei tubi, spessore dell'isolante, drenaggio della condensa, conformazione della rete idraulica, strumentazione, ecc.);
- portata dell'acqua di pozzo e sua qualità (durezza, purezza, temperatura);
- verifiche generali sulla funzionalità e le prestazioni dei componenti principali.

Occorre anche verificare che i componenti del sistema siano installati in modo tale da rendere semplici i successivi interventi di manutenzione e sostituzione.

Avviamento della pompa di calore

Normalmente il primo avviamento è effettuato dal servizio di assistenza ai clienti del costruttore della pompa di calore, secondo le istruzioni del costruttore. Si accerta la presenza e l'operatività di tutte le apparecchiature di sicurezza e si verificano i parametri operativi della pompa di calore:

- proprietà termodinamiche del fluido frigorifero (temperatura e pressione) sui lati del circuito di bassa pressione e di alta pressione, specialmente all'accensione / spegnimento del compressore;
 - temperatura e portata del fluido secondario (aria o acqua) e del fluido termovettore;
 - assorbimento elettrico del compressore e degli ausiliari;
 - livello di rumorosità;
 - assorbimento elettrico, pressione di lavoro, portate elaborate dalle pompe e dai ventilatori;
 - installazione corretta dei componenti idraulici;
-

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

- corretta interfaccia con il sistema di controllo generale, connessioni elettriche dei sensori e attuatori all'alimentazione elettrica principale o al quadro di controllo;
- verifica *in situ* delle letture degli attuatori e dei sensori;
- intervento dei dispositivi di sicurezza e loro comunicazione.

Messa a punto della pompa di calore

Una volta che si è definita la strategia di gestione dell'impianto, le regole secondo le quali interviene il sistema di controllo sono state programmate e inserite nella CPU dei dispositivi di comando digitali. Quindi si verificano ad uno ad uno i collegamenti di tutti i sensori e gli attuatori, per assicurarsi che siano stati realizzati correttamente.

La calibrazione di specifici dispositivi di controllo è generalmente svolta dal costruttore dell'impianto in una fase successiva, perché è un tipo di lavoro molto specialistico. E' generalmente consigliabile verificare e calibrare i dispositivi di comando delle pompe di calore (valvola termostatica: controllo ai carichi parziali; dispositivi termostatici: controllo della massima pressione al condensatore)

Per quanto riguarda l'impianto complessivo, i problemi principali che si riscontrano riguardano i valori sbagliati di portata d'acqua, la mancanza dell'accumulo o un volume d'acqua insufficiente a confronto con la potenza, la geometria dei canali dell'aria (perdite eccessive).

Un aspetto che merita attenzione è quello dell'uso delle pompe di calore con recupero termico. Un esempio può essere un GSHP che fornisce riscaldamento, refrigerazione e ACS. Quando si adotta una apparecchiatura di questo tipo, occorre prestare speciale cautela nella verifica delle interazioni tra la logica di controllo interno della pompa di calore e le strategie di controllo globale del sistema e degli altri componenti, al fine di evitare conflitti.

Questioni riguardanti il sistema di controllo

La strategia di controllo globale del sistema svolge diverse funzioni; vari aspetti del suo funzionamento devono quindi essere verificati attentamente in fase di *commissioning*:

- adattamento alle condizioni dell'ambiente (meteo) e dei carichi termici endogeni (profili di utilizzazione), il controllo interagisce con l'impianto HVAC per realizzare le condizioni interne desiderate;
- minimizzazione del consumo energetico;
- monitoraggio della sicurezza.

Nel caso di un impianto a pompa di calore, la macchina è normalmente dotata del proprio sistema di controllo indipendente con *software* dedicato. E' essenziale integrare il controllo della pompa di calore nel sistema globale, per ottenere un modulo di interfaccia idoneo per poter comunicare con le funzioni chiave della pompa di calore e per permettere al sistema globale di lavorare con priorità d'intervento (modo *master*). Il controllo interno di sicurezza non deve poter agire in modo autonomo; tutte le segnalazioni di guasti devono essere comunicate al sistema di controllo principale che si farà carico di gestirle.

Analisi dei dati

L'analisi dei dati raccolti può aiutare a comprendere il funzionamento del sistema complesso: controllo + HVAC + edificio. In seguito al confronto con i dati dei calcoli o delle simulazioni, l'impianto può essere messo a punto, o modificato, per ottenere le prestazioni desiderate. Le registrazioni dei dati fanno parte della documentazione del *commissioning*.

I dati di maggior interesse sono i seguenti:

- controllo
 - parametri corretti della programmazione
 - funzionamento in condizioni dinamiche
-

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

- pompa di calore
 - temperatura, pressione
 - potenza, energia, COP
 - funzionamento durante gli stati di transizione
- accumulo
 - stratificazione della temperatura
- scambiatore di calore a sonda geotermica
 - distribuzione della temperatura
 - variazioni di temperatura
 - potenza
- idraulica
 - scambiatori di calore, tubi, valvole, pompe
 - temperatura
 - portata
- edificio
 - condizioni di progetto interne

Sviluppo del *commissioning*

A seconda delle dimensioni del sistema e dei problemi riscontrati, la fase di *commissioning* può durare da qualche giorno a svariati mesi (se si riscontrano gravi problemi, è necessario sospendere l'attività, cercare di risolvere il problema e poi ricominciare). Inoltre, il *commissioning* deve riguardare sia la stagione invernale che quella estiva. Dopo la verifica iniziale, si esegue un monitoraggio regolare a lungo termine con il BMS o con un sistema di acquisizione remoto mediante protocolli ADSL o siti internet dedicati. Si possono incontrare problemi specifici con i circuiti ad acqua aperti (ad esempio l'ostruzione dello scambiatore di calore intermedio, la gestione delle pompe di calore sommerse, la procedura di autorizzazione per i pozzi di estrazione e di ritorno, ecc.). Il problema principale è la filtrazione. Generalmente non si riscontrano altri problemi specifici.

Normalmente non si applicano altri trattamenti all'acqua di falda oltre alla filtrazione, anche perché l'acqua deve essere restituita alla falda senza alterazioni fisiche e chimiche e con una differenza massima di temperatura di 5°C. Sulla base della qualità dell'acqua si stabilisce il tipo di circuito idraulico da progettare (con o senza scambiatore di calore intermedio); la manutenzione dei filtri è un fattore chiave nella prevenzione dei problemi di funzionamento.

La relazione del *commissioning*

Nella relazione del *commissioning*, intermedia o finale, si documenta lo stato dell'impianto, nei dettagli e in sintesi.

La relazione, comunicata al proprietario dell'edificio, contiene le seguenti informazioni:

- conformità con i requisiti del contratto;
 - conformità con la progettazione;
 - verifica dei dati del costruttore;
 - verifica del sistema in condizioni di prova dinamiche;
 - procedure di prova idrauliche;
 - prestazioni generali;
 - prestazioni della pompa di calore (COP);
 - opportunità di ottimizzazione energetica;
 - punti strategici per le operazioni di manutenzione e le ispezioni.
-

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

III. Conclusioni

I casi studio completati nell'ambito dell'*Annex 48* hanno permesso di venire a conoscenza di un gran numero di aspetti importanti circa progettazione, *commissioning*, conduzione e monitoraggio degli impianti a pompa di calore. All'inizio di questo progetto erano evidenti i numerosi ostacoli che si frapponevano alla diffusione delle pompe di calore negli edifici del terziario:

- mancanza di conoscenza;
- mancanza di buona pratica di progettazione;
- mancanza di pratica specifica ed efficiente di *commissioning*;
- mancanza di strumenti di valutazione dedicati.

I casi studio analizzati nel corso del progetto hanno confermato in pieno l'esistenza di questi ostacoli. In ogni caso, anche se non tutti i casi studio hanno raggiunto risultati dello stesso livello, è stato comunque possibile coprire un campo piuttosto ampio di tipologie di impianti, destinazioni d'uso degli edifici, contesti di applicazione (cioè edifici nuovi e ristrutturati). Dai casi studio si possono trarre le seguenti conclusioni:

- La simulazione numerica è uno strumento importante che può aiutare il progettista nella fase dello studio di fattibilità, quando tipicamente risulta necessaria l'analisi costi – benefici per convincere il committente ad accettare costi iniziali più elevati a fronte di sostanziali risparmi energetici ed economici nel corso della vita dell'impianto. Sono anche di grande aiuto gli strumenti di simulazione dettagliata per la scelta delle strategie ottimali di controllo del sistema.
 - In vari casi la decisione di scegliere un impianto con pompa di calore al posto di una caldaia convenzionale a gas era sostenuta da fattori di tipo ambientale, ragioni di immagine, tariffe elettriche favorevoli, incentivi fiscali o vincoli normativi (per esempio legati alla prevenzione incendi).
 - La collaborazione con i costruttori di pompe di calore si è dimostrata molto importante nella scelta dell'apparecchiatura ottimale per ogni distinta applicazione; in effetti non è affatto detto che qualsiasi pompa di calore in commercio dia risultati soddisfacenti in associazione con un impianto HVAC, per il quale la pompa di calore reversibile non fosse la soluzione ottimale per la produzione di acqua fredda. La collaborazione del costruttore è anche essenziale durante il *commissioning* e l'avviamento del sistema. Viceversa, alcuni casi studio hanno dimostrato che determinati tipi di terminali (ad esempio i pannelli radianti immersi nella soletta in calcestruzzo) non sono una soluzione adatta per tutti i tipi di edifici.
 - Gli impianti con pompa di calore ad acqua presentano un buon livello di flessibilità di funzionamento; per esempio, la commutazione sul circuito dell'acqua o l'aggiunta di un secondo condensatore raffreddato ad acqua possono risultare molto efficaci per ottenere prestazioni soddisfacenti del sistema.
 - Una procedura di *commissioning* attenta e pianificata con cura è essenziale per assicurarsi che l'impianto darà davvero i risultati attesi, sia in termini di benessere, sia in termini di prestazioni energetiche. La procedura di *commissioning* deve essere definita nella documentazione del progetto, dove si definiscono chiaramente responsabilità, obiettivi e apparecchiature tecniche (ad esempio la strumentazione) necessari allo scopo.
 - L'*On-going commissioning* permette di risolvere problemi operativi, migliorare il benessere, ottimizzare l'uso dell'energia e suggerire gli interventi di retrofit, se necessario. A tal fine è necessario il monitoraggio del sistema mediante il BMS, possibilmente dotato di ulteriore strumentazione dedicata.
 - Al fine di utilizzare il BMS per il monitoraggio energetico, le sue caratteristiche devono essere chiaramente definite in fase di progetto in termini di: tipo e numero di sensori / strumenti di misura, protocolli di trasmissione dei dati (tramite internet, reti senza fili, UMTS / GPRS, ecc.), frequenza di acquisizione dei dati (programmabile da parte dell'utente), memorizzazione dei dati (intervalli temporali, identificazione dei sensori, gestione dei dati mancanti, ecc.), ed elaborazione
-

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

dei dati (cioè calcolo delle prestazioni energetiche, indici di prestazione, presentazione grafica dei risultati, ecc.).

- Al fine di utilizzare un sistema a pompa di calore, le prestazioni dell'edificio devono essere migliorate, specialmente per quegli edifici caratterizzati da grandi carichi termici invernali.
 - In generale, i costruttori di pompe di calore sono specializzati in apparecchi per la refrigerazione. Invece, queste macchine devono essere ottimizzate per il riscaldamento, soprattutto nelle zone climatiche fredde.
 - Le unità multifunzionali si devono utilizzare solo per gli edifici caratterizzati dalla presenza contemporanea di carichi termici di segno diverso, perché nelle applicazioni ordinarie tali unità possono risultare non convenienti.
 - L'impianto VRF presenta un grado elevato di flessibilità di installazione. La modularità dei terminali consente una grande facilità di installazione nel corso di ristrutturazioni totali o parziali di edifici esistenti. L'installazione di unità VRF in edifici nuovi può risultare un tema controverso, a causa delle grandi quantità di fluido frigorifero e del ciclo di vita di un impianto che comprende un grande numero di unità terminali di piccole dimensioni.
 - Infine, un sistema a pompa di calore, per quanto la sua tecnologia sia raffinata, non è sufficiente a garantire risparmi energetici soddisfacenti: per ottenere le condizioni operative ottimali del sistema sono essenziali tecnici preparati e l'esecuzione delle procedure di *commissioning* (*Initial Commissioning* e *On-going Commissioning*).
-

IV. Bibliografia

1. Bertagnolio, S. 2007. Study modeling and analysis of heat pypming solutions in a commercial building. Master Thesis University of Liège.
 2. Bertagnolio, S., Lebrun, J., Aparecida Silva, C., Hannay, J. 2007. Heat pumping and reversible air conditioning: Retrofit opportunities in a laboratory Building. Proceedings of the 5th International Symposium on Heating, Ventilating and Air Conditioning, Beijing, China
 3. Bertagnolio, S., Lebrun, J., Andre, P., Moureau, F. 2008. Heat pumping and reversible air conditioning : how to make the best use of HVAC equipment. 9th IEA Heat Pump Conference, Zurich, Switzerland.
 4. Fabry B.; André, Ph. ; Bertagnolio, S. ; Lebrun, J. ; Stabat P. Simulation Based Assessment of Heat Pumping Potential in Non-Residential Buildings – Part 3: Application to a typical office building in Belgium. Proc. of 10th REHVA World Congress Clima2010, Antalya, Turquie, 9-12 May 2010
 5. Busnardo E., De Rossi L., Basso L. Unit for four-pipes systems. Energy metering study on a four-pipes plant of a multi purpose building. Proc. of 10th REHVA World Congress Clima2010, Antalya, 9-12 May 2010.
 6. Byrne P., Miriel J., Lénat Y., Design and simulation of a heat pump for simultaneous heating and cooling using HFC or CO2 as a working fluid. International Journal of Refrigeration, Vol. 32, pp. 1711-1723, November 2009
 7. Gianni G., Oliva M. Water loop heat pump system integrated with heat recovery system. Technical and economical comparison with a traditional system. Proc. International AICARR Conference Systems, energy and built environment towards a sustainable comfort. Tivoli, 8-9 October 2009, pp. 657-668 (in Italian).
 8. Masoero M., Silvi C. Field monitoring of air conditioning systems: Italian case studies in Auditac project. Proc. Climamed 2007. Genova, 5-7 September 2007, pp. 913-930.
 9. Masoero M., Silvi C., Pellegrini G. Energy conservation in buildings: design and monitoring of an office building with GSHP and phase-change thermal storage system. Proc. Climamed 2009. Lisbon, 17-18 April 2009.
 10. Masoero M., Silvi C., Toniolo J. Assessing the energy performance of HVAC systems in the tertiary building sector by on-site monitoring. Proc. IEECB'10. Frankfurt, 13-14 April 2010.
 11. Masoero M., Silvi C., Toniolo J. Energy performance assessment of HVAC systems by inspection and monitoring, Proc. of 10th REHVA World Congress Clima2010, Antalya 09-12 May 2010.
 12. Moureau, F. 2008. Energy retrofit potentials in building HVAC. Focus on heat recovery. Master Thesis University of Liège.
-