

Technical Insights

n.02

Impianti con circuito primario a portata variabile



Francesco Costa

Technical
Documentation



Elena Busnardo

Product Manager
Large Chillers



Luigi Basso

Corporate Marketing
Manager

Riassunto

Gli impianti di refrigerazione con circuito idronico a portata d'acqua variabile al primario sono diffusi in America già da qualche anno, e con il passare del tempo si stanno guadagnando sempre più estimatori grazie ai minori costi di installazione ed ai minori consumi elettrici che permettono di conseguire.

Questi vantaggi rendono il sistema appetibile anche per il mercato europeo, oggi più che mai caratterizzato dalla ricerca della massima efficienza energetica di tutto il sistema edificio-impianto.

In particolare rispetto alle soluzioni convenzionali con primario a portata costante si possono ottenere:

- Costi di installazione inferiori
- Minore spazio richiesto in centrale
- Minori spese di pompaggio
- Potenza di pompaggio installata minore
- Maggiore tolleranza verso valori di ΔT all'evaporatore inferiori a quelli di progetto

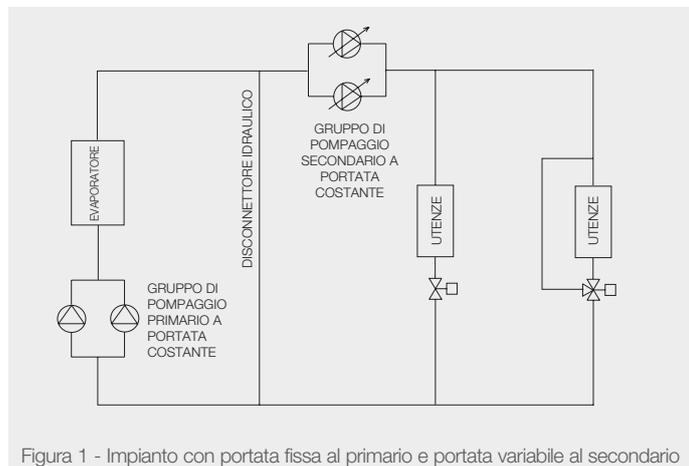
Tutto questo è possibile grazie agli sviluppi recenti nel campo dei controllori ed all'integrazione tra gruppo di pompaggio ed unità. Le tipiche problematiche legate alla portata variabile all'evaporatore, quali possono essere ad esempio il mantenimento della minima portata d'acqua ed il controllo del sistema durante i transitori, vengono infatti gestite autonomamente dalle regolazioni a bordo macchina. I recenti controllori quindi, in particolare quando vengono associati ad unità con regolazione continua della capacità, assicurano un funzionamento sempre ottimale e stabile.

Scopo di questo lavoro sarà la presentazione delle caratteristiche principali di questa tipologia di impianto.

Impianti con circuito primario a portata variabile

1. Come funziona

Per meglio comprendere le peculiarità del sistema con primario a portata variabile (Variable Primary Flow-VPF), si analizzerà prima una tipologia di impianto convenzionale: l'impianto con portata fissa al primario e portata variabile al secondario, rappresentato in figura 1.



Questa tipologia di impianto, il cui schema è rappresentato in figura 1, è il sistema attualmente più diffuso. E' costituito da due circuiti indipendenti: un circuito primario in grado di garantire portata d'acqua costante all'evaporatore, ed un circuito secondario a portata variabile, in grado quindi di adattarsi alle esigenze dell'utenza. Le pompe al primario sono a velocità costante, mentre quelle del secondario sono solitamente a velocità variabile. I circuiti sono separati da un disconnettore idraulico, che è un tratto di tubazione in comune tra primario e secondario. Questo tubo è sempre aperto, ed ha la funzione di separare fisicamente il circuito primario dal secondario, rendendo quindi le portate dell'evaporatore e dell'impianto sempre indipendenti una dall'altra. Con questo sistema un'eventuale differenza di portata tra primario e secondario viene ricircolata attraverso il disconnettore, garantendo in ogni istante una portata costante all'evaporatore. Questa portata ricircolata però ritorna al chiller senza aver prodotto effetto utile, si può quindi considerare una portata "persa".

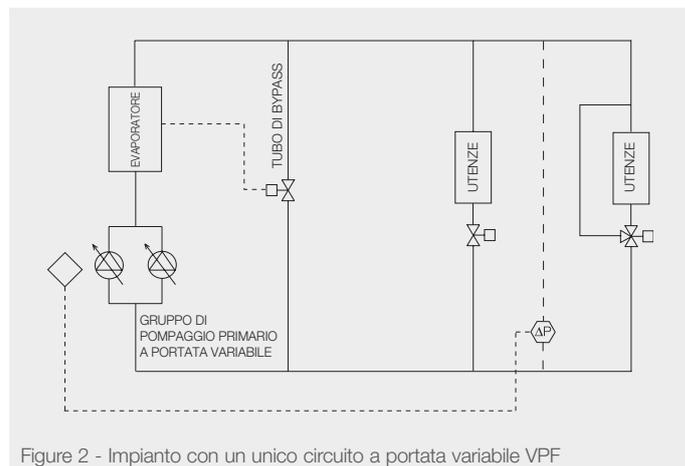
Al secondario le pompe a portata variabile sono regolate per garantire costantemente una differenza di pressione minima in un punto remoto del circuito di distribuzione, mentre le valvole di controllo finale modulano la portata d'acqua, deviando verso i terminali solo quella necessaria per soddisfare i carichi termici. Queste valvole sulle utenze sono solitamente a due vie, per fare in modo che al ridursi del carico la valvola possa chiudere, consentendo così una diminuzione di portata d'acqua nel circuito secondario e quindi minori spese di pompaggio.

I vantaggi principali di questo sistema sono la semplicità e l'affidabilità che ne consegue, anche in presenza di manutenzione scarsa o addirittura assente.

Il concetto di base di questa tipologia di impianto nasceva dall'esigenza di mantenere una portata d'acqua costante all'evaporatore dei chillers. I sistemi di regolazione infatti non erano in grado di gestire variazioni eccessive o troppo repentine della portata d'acqua, con il rischio quindi di blocchi, formazione di ghiaccio ed eventualmente anche di rottura di tubi.

Gli sviluppi nel campo delle regolazioni elettroniche hanno migliorato moltissimo la stabilità delle unità, permettendo quindi agli evaporatori moderni di lavorare anche in condizioni di portata variabile.

L'impianto che permette di sfruttare questa nuova capacità è quindi il VPF, cioè un impianto a portata variabile al primario con secondario in serie, il cui schema è rappresentato in figura 2.



Si nota immediatamente che tale impianto permette l'eliminazione delle pompe del circuito secondario, poiché tutta la circolazione è affidata alle pompe a portata variabile del primario. Potendo variare la portata che scorre all'evaporatore infatti, non è più necessario disaccoppiare primario e secondario come nel caso precedente, consentendo quindi ad un solo gruppo di pompaggio di poter rispondere alle esigenze di tutto l'impianto. Inoltre questo permette di eliminare il disconnettore idraulico.

L'unico vincolo rimasto ai progettisti consiste nel dover garantire una portata minima all'evaporatore, solitamente pari al 50% della portata nominale. Tale vincolo è imposto da inefficienze nello scambio termico in caso di portate troppo ridotte e da limiti operativi delle pompe, poiché riducendo troppo la frequenza di alimentazione insorgono problemi di stabilità e di raffreddamento del motore elettrico.

Tale portata minima viene assicurata tramite l'installazione di un tubo di bypass, che deve essere dimensionato per la portata minima e deve essere dotato di una valvola azionata in base ai segnali provenienti da un pressostato. Dovrà infatti essere in grado di aprirsi solo all'occorrenza: la valvola sarà completamente chiusa durante il normale funzionamento e si aprirà modulando solo quando la portata richiesta dalle utenze sarà minore di un valore limite prefissato.

La valvola di bypass è bene sia localizzata in prossimità delle pompe, per minimizzare le perdite di pompaggio.

Analogamente all'impianto primario/secondario, la portata d'acqua viene regolata per coprire i fabbisogni termici, mentre le pompe hanno il compito di mantenere la differenza di pressione in un punto remoto dell'impianto di distribuzione ad un set-point prefissato.

Per sfruttare al meglio i vantaggi derivanti dalla portata variabile, i terminali conviene che vengano regolati tramite valvole a due vie. E' tuttavia consigliabile installare comunque un certo numero di valvole a 3 vie, soprattutto sui terminali più remoti. Questo garantisce che ci sia sempre una minima circolazione d'acqua nel circuito, migliorando nettamente nella risposta dell'impianto.

2. I vantaggi del VPF

I vantaggi che gli impianti a portata variabile al primario possono offrire rispetto alle soluzioni convenzionali con primario a portata costante sono i seguenti:

- Costi di installazione inferiori, grazie all'eliminazione del gruppo di pompaggio secondario ed ad un impianto più semplice, poiché si deve installare un numero minore di componenti
- Minore spazio richiesto in centrale, dovuto all'eliminazione fisica di un intero gruppo di pompaggio. Questo può tramutarsi in consistenti risparmi economici, specialmente per interventi di riqualificazione di impianti pre-esistenti
- Minori spese di pompaggio. Le pompe a portata costante dovendo garantire appunto una portata costante agli evaporatori dovranno essere sempre in funzione, ricircolando continuamente eventuali surplus di acqua ogni qualvolta la portata al secondario sia inferiore alla somma delle portate circolanti nei refrigeratori in funzione. Tali ricircoli ovviamente sono un costo, che diventa importante soprattutto in condizioni di parzializzazione spinta o di stand-by dell'unità. Gli impianti a portata variabile permettono di eliminare del tutto questa spesa (tranne il caso in cui la portata scende al di sotto del valore minimo previsto). Essendo la potenza funzione del cubo del numero di giri, $Potenza = f(n^3)$, si deduce che al 50% di portata d'acqua, si ha una potenza assorbita pari a circa il 20% di quella che si ha a portata massima. Un ulteriore risparmio deriva dal fatto che le pompe ad alta prevalenza necessarie per gestire l'impianto tramite un unico gruppo sono solitamente più efficienti delle pompe a bassa prevalenza impiegate nei circuiti tradizionali.
- La potenza di pompaggio installata può essere minore, grazie al guadagno in termini di perdite di carico che deriva dall'eliminazione di tutti i componenti legati al circuito secondario. Eliminando le pompe secondarie inoltre diminuisce la massima corrente di picco per cui deve essere dimensionato l'impianto elettrico.
- Maggiore tolleranza verso valori di ΔT all'evaporatore inferiori a quelli di progetto. In un sistema primario/secondario non è possibile raggiungere la piena potenza del chiller se non è disponibile un ΔT pari a quello di progetto, e l'unico modo che tali impianti hanno per adattarsi è tramite l'attivazione di più macchine (con relativi ausiliari). Così facendo si aumenta la portata al primario e quindi le perdite causate dai ricircoli. Il sistema VPF invece permette di aumentare il flusso d'acqua all'evaporatore fino a valori anche superiori a quelli di progetto, permettendo di mantenere un ΔT praticamente costante. Questo permette di ottenere anche dei vantaggi da un punto di vista energetico, in quanto la miscelazione fra mandata e ritorno tipica di un impianto primario/secondario abbassa il ΔT medio logaritmico e quindi lo scambio termico all'evaporatore. Con il VPF si formano miscele solo quando si apre la valvola di bypass quindi solo ad elevati gradi di parzializzazione dell'impianto.

3. Gli aspetti critici del VPF

Il VPF però, pone indubbiamente anche dei problemi ai progettisti. I vantaggi appena elencati infatti sono conseguibili solo a costo di particolari attenzioni in fase di progettazione e messa in opera, poiché una regolazione errata od approssimativa ha come diretta conseguenza problemi e blocchi del sistema. Gli aspetti principali da considerare con attenzione sono il mantenimento della portata d'acqua all'evaporatore all'interno dei limiti superiori e inferiori imposti dal costruttore, e la gestione

delle portate in regime transitorio senza compromettere la stabilità del sistema, in particolare in impianti con più unità.

3.1 Controllo della portata d'acqua all'evaporatore

Il controllo della portata d'acqua all'evaporatore è uno degli aspetti critici per il buon funzionamento del sistema.

Le portate d'acqua massime e minime all'evaporatore sono definite in base ai limiti di velocità di flusso imposti dal costruttore dell'evaporatore.

La velocità massima è imposta per limitare gli effetti erosivi, mentre il limite inferiore è stabilito per evitare la formazione di flussi laminari, al fine di mantenere stabile la trasmissione di calore.

La necessità di dover garantire una portata minima, come già anticipato, impone l'installazione di un tubo di bypass, dotato di valvola. Tale valvola, chiusa durante il normale funzionamento della macchina, è comandata dal controllore dell'unità in base ai segnali provenienti da un pressostato differenziale, ed ha il compito di aprirsi quando il flusso d'acqua è minore del limite inferiore fissato. Il pressostato differenziale è posizionato in modo da misurare la differenza di pressione tra ingresso ed uscita dell'evaporatore. Il dimensionamento di questa valvola e del relativo tubo di bypass richiede particolare cura, poiché è errore comune sovradimensionare entrambi.

Questo è da evitare assolutamente, poiché provoca un flusso d'acqua eccessivo attraverso il tubo di bypass, con il risultato di miscelare troppa acqua di mandata con l'acqua di ritorno. I sensori di temperatura a bordo macchina misurano così una temperatura di ritorno molto prossima a quella di mandata, interpretando tale informazione come una diminuzione del carico richiesto, forzando quindi il disinserimento dell'unità. Il funzionamento dunque non sarebbe stabile.

Tubo di bypass, valvola e pressostato devono quindi essere considerati elementi chiave del sistema a cui deve essere fornita la giusta attenzione in fase di progettazione.

La valvola va scelta con attenzione, tenendo in debita considerazione anche la relativa caratteristica idraulica e l'effetto che questa può avere sul comportamento dell'impianto (ad esempio una comune valvola a farfalla non riesce a garantire le caratteristiche di portata adeguate).

Per assicurare la stabilità del sistema di regolazione è necessario garantire costantemente un funzionamento ottimale di valvola e pressostato, essendo molto importante poter contare su misurazioni affidabili e precise a lungo termine. I misuratori devono essere in grado di garantire costantemente un appropriato livello di precisione, per cui deve esserne prevista periodicamente la ritaratura.

Un ultimo aspetto da considerare è la quantità d'acqua presente nell'impianto, in quanto volumi troppo limitati possono compromettere la stabilità del sistema.

3.2 I Transitori

Il secondo problema da affrontare è legato alla stabilità di funzionamento del sistema durante i transitori causati da brusche variazioni di portata. Variazioni di portata troppo rapide possono verificarsi in concomitanza con una rapida variazione di fabbisogno termico da parte delle utenze oppure con la variazione del numero di refrigeratori funzionanti.

Essendo l'impianto a portata variabile, eventuali variazioni di carico si traducono in variazioni di portata. Se, ad esempio, tutti i terminali di un impianto si spegnessero contemporaneamente, la portata calerebbe drasticamente in tutto il circuito.

Impianti con circuito primario a portata variabile

La variazione potrebbe essere così rapida da non lasciare il tempo alla valvola di bypass di adeguarsi, con il risultato di far lavorare il chiller in condizioni di portata insufficiente.

Per prevenire questo inconveniente è necessario dotare i terminali di valvole a lenta chiusura oppure programmare una sequenza di spegnimento graduale.

Più complessa invece la gestione della sequenza di attivazione/spegnimento delle unità in impianti dotati di più refrigeratori. Prendiamo ad esempio un impianto costituito da due chiller, progettato per mantenere un ΔT pari a 5°C , con temperature di mandata di 7°C e ritorno 12°C . Se il carico richiesto è limitato, basterà un solo chiller per coprire i fabbisogni e mantenere costanti le temperature di mandata e ritorno. All'aumentare dei carichi la portata d'acqua inviata dalle pompe aumenta, fino al punto in cui un solo chiller non è più in grado di mantenere la temperatura di mandata richiesta, forzando così l'avvio della seconda unità. L'apertura istantanea delle valvole del secondo refrigeratore provoca una riduzione della portata al primo evaporatore pari al 50%, con il risultato di raddoppiare il ΔT della prima macchina che da 5 passa a 10°C . Se il sistema di regolazione non è sufficientemente rapido a togliere carico dalla prima unità, le protezioni provvedono a bloccare i compressori per evitare danni. I sistemi di regolazione di nuova concezione sviluppati appositamente per gli impianti VPF, riescono in autonomia a gestire queste situazioni e ad evitare questi inconvenienti, poiché integrano la modulazione della capacità con la modulazione della portata idraulica.

Per prevenire questa tipologia di blocchi infatti, i controllori agiscono riducendo il carico alla prima macchina prima di aprire le valvole della seconda. Le valvole associate all'unità interessata andranno comunque aperte lentamente, aumentando gradualmente il carico coperto dalla seconda unità. Questo permette di evitare il rischio di blocchi, a fronte di possibili fluttuazioni di temperatura di mandata, irrilevanti data l'inerzia dei sistemi multi-unità.

La procedura corretta per azionare ulteriori chiller è la seguente:

- Diminuire il carico a tutti i chiller in funzione;
- Aprire lentamente le valvole del chiller da attivare;
- Attivare il chiller dopo che la portata ha raggiunto un valore minimo prefissato;
- La regolazione continuerà quindi ad operare, prendendosi in carico il conseguente bilanciamento del carico sui chiller attivi

La procedura sopra esposta è notevolmente avvantaggiata dall'utilizzo di chillers con modulazione continua della capacità frigorifera, specie se con ampio intervallo di parzializzazione, mentre è poco affidabile con chillers dotati di gradini fissi.

La parzializzazione fine della capacità frigorifera consente inoltre di instaurare logiche intelligenti di ripartizione del carico, beneficiando delle maggiori efficienze energetiche ai carichi parziali, e al contempo assicurando un'accurata regolazione della temperatura di mandata. La procedura sopra esposta, inoltre, ha un impatto oneroso qualora la gestione delle pompe sia disgiunta da quella delle unità. Ciò si verifica nella maggior parte dei casi, caratterizzati da unico gruppo di pompaggio a servizio di più unità.

Il procedimento inverso di disinserimento di unità è meno pericoloso e solitamente non rappresenta problemi, poiché le unità che restano attive semplicemente vedono aumentare la portata d'acqua per compensare l'aumento di carichi richiesti. Questa operazione è però particolarmente importante ai fini del risparmio energetico, e quindi la regolazione deve individuare in modo intelligente la sopraggiunta possibilità di disinserire un'unità. Ciò richiede l'integrazione di logiche basate su zona neutra e su algoritmi proporzionali-integrali-derivativi, associati a

rilevazioni delle temperature sia di mandata che di ritorno. Si deduce quindi l'importanza di installare un sistema di regolazione, sia a bordo unità, sia indirizzato alla gestione multi-unità, mirato alla gestione del VPF.

Vantaggi	Svantaggi
Minor costo di installazione	Complessità sequenza attivazione / spegnimento, sopperita da adeguate risorse native per la regolazione
Minor corrente di picco	Complessità controllo del bypass, sopperita da adeguate risorse native per la regolazione
Minor consumo di energia	Il tubo di bypass richiede posa in opera e messa in funzione più accurate
Minor spazio richiesto in centrale	Richiede progettazione più accurata
Maggior tolleranza verso bassi ΔT	

Tabella 1: Vantaggi e svantaggi del VPF

3.3 I Chiller

La stabilità dei refrigeratori rappresenta il punto critico da cui dipende il buon funzionamento dell'impianto. I controlli a bordo macchina assumono quindi un ruolo cruciale, poiché oltre a gestire i set-point, devono essere in grado di adattarsi alle variazioni di portata d'acqua all'evaporatore, con particolare attenzione nel ridurre il più possibile i tempi di risposta.

Il controllo sulla capacità è affidato alla regolazione della temperatura di mandata. I tradizionali sistemi di regolazione proporzionale basati sulle temperature non sono più in grado di gestire l'unità, poiché, al calare della portata, il controllore percepirebbe carichi termici maggiori del reale, portando il sistema verso l'instabilità.

I controlli elettronici dei refrigeratori attuali hanno risolto questo problema grazie all'adozione delle valvole termostatiche elettroniche. La rapidità di risposta di queste valvole, associate a regolatori integrati basati su microprocessori, implementati con logiche P-I-D, proporzionale-integrative-derivative, ha permesso di ridurre la banda proporzionale e di offrire risposte molto più rapide ai transitori, limitando le massime escursioni.

Sono ovviamente previsti dispositivi di sicurezza e di blocco, per esempio al fine di prevenire danni agli scambiatori in caso di temperatura troppo bassa. Per evitare blocchi troppo frequenti e dare maggior stabilità al sistema però, i costruttori implementano tali dispositivi con logiche di controllo integrative, in modo da consentire alla macchina di poter funzionare stabilmente in condizioni prossime ai valori limite, attuando opportune retroazioni e segnalazioni. Questo aumenta vistosamente la stabilità del sistema.

L'ultima considerazione da fare riguarda l'efficienza. È stato provato che l'impatto della variazione di portata all'evaporatore influisce in maniera minima sull'efficienza. Rispetto al caso a portata costante infatti, sono state misurate differenze nell'ordine dell'1%.

Ciò si spiega col fatto che la diminuzione di portata, se da un lato aumenta la differenza di temperatura media logaritmica, dall'altro influisce sui coefficienti di scambio all'interno degli scambiatori. I due effetti tendono a compensarsi, con il risultato di avere efficienze fondamentalmente non influenzate dalle portate d'acqua.

4. Considerazioni impiantistiche

Il sistema VPF quindi, grazie agli sviluppi recenti nel campo dei controlli automatici, permette di ottenere buoni risparmi, sia in termini di consumo di energia che in termini di spese iniziali di installazione. La complessità nella gestione dei bypass e delle sequenze di attivazione, nel caso di gestione non integrata del gruppo di pompaggio (specie se unico gruppo a servizio di più unità), richiede d'altra parte maggiore attenzione.

La soluzione attualmente più innovativa pensata appositamente per ovviare a questo aspetto consiste nell'installare refrigeratori con pompe a portata variabile integrate già a bordo del refrigeratore. Questo permette un'integrazione ottimale tra tutti i componenti chiave dell'impianto (compressori e pompe), in quanto diventa possibile sviluppare controllori (e relative logiche di comando centralizzate) pensati appositamente per l'intero sistema VPF. Un unico controllore quindi diventa sufficiente per gestire sia le pompe che i compressori. I benefici che sistemi di regolazioni di questo tipo possono fornire alla stabilità del sistema sono immediati, soprattutto nella gestione dei transitori, in cui il coordinamento tra pompe e compressori è vitale per la stabilità. Dal punto di vista impiantistico la soluzione con pompe integrate permette di esaltare i vantaggi già ottenibili con il sistema VPF "standard". L'impianto in cui andrà ad essere inserita una unità di questo tipo infatti, sarà estremamente semplice in quanto non c'è più la necessità di installare alcun gruppo di pompaggio. La semplificazione impiantistica in questo caso è massima, permettendo risparmi ancora maggiori sia in termini di costo d'impianto che di spazio tecnico in centrale.

Non tutti i refrigeratori, ovviamente, sono ugualmente predisposti verso questa tipologia d'impianto. I chiller che più di tutti riescono a trarre vantaggio da un circuito primario a portata variabile sono quelli dotati di regolazione continua della capacità. Particolarmente vantaggiosi risultano i chiller con compressori a vite dotati di inverter, i quali oltre a permettere un ottimo risparmio energetico, garantiscono una precisione e una rapidità di risposta impareggiabile per i chiller tradizionali. Questa caratteristica, abbinata a logiche di controllo dedicate, permette di ottenere sistemi estremamente stabili anche in regime di VPF.

Da un punto di vista più generale, per permettere guadagni apprezzabili in sistemi di questo tipo, oltre alle caratteristiche già elencate i refrigeratori devono consentire una portata minima all'evaporatore inferiore almeno al 60% della portata di progetto. I refrigeratori devono inoltre essere il più tolleranti possibile verso i rapidi cambiamenti di portata. E' importante studiare con cura questo aspetto, provvedendo ad una stima della velocità di variazione dell'impianto in fase di progettazione, per poterla poi confrontare con i valori massimi consentiti dal controllo del chiller e soprattutto dal sistema di regolazione della valvola di bypass.

E' bene ricordare comunque che non è sempre giustificato il ricorso alla portata variabile al primario, poiché non tutti gli impianti (o le utenze) ne giustificano la maggiore complessità. Il VPF ad esempio, diventa sempre meno conveniente all'aumentare del numero di chillers installati in centrale frigorifera. Negli impianti tradizionali infatti la portata al primario può variare a gradini, a seconda dell'accensione/spengimento di uno o più gruppi frigo. All'aumentare del numero di unità in centrale, le variazioni di portata tra un gradino e l'altro in un impianto primario/secondario diventano più piccole, garantendo un funzionamento quasi continuo, riducendo quindi i risparmi conseguibili con il VPF. Inoltre in sistemi costituiti da più chiller si

assiste come già visto a delle oscillazioni nella temperatura di mandata dell'acqua, in coincidenza con l'attivazione di nuove unità. Questo fatto preclude l'utilizzo del VPF a tutte quelle utenze che non sono in grado di tollerare queste variazioni, in particolare per alcune applicazioni industriali.

Un'ultima situazione in cui il sistema primario/secondario è da preferire rispetto al VPF si verifica quando non è possibile garantire una manutenzione costante all'impianto e all'unità. Questo è dovuto principalmente all'importanza che ha la regolazione della portata di bypass per la stabilità del sistema. In mancanza di supervisione il rischio di incorrere in blocchi o instabilità per colpa di strumenti imprecisi diventa reale.

5. Il risparmio

Per concludere questa breve analisi sul VPF si cercherà ora di quantificare i vantaggi ottenibili in termini di efficienza globale e di risparmio economico.

I guadagni in termini di efficienza che l'eliminazione del gruppo di pompaggio secondario permette sono stati calcolati da Fadigà, Pontarollo e Sormani nel loro lavoro "Valutazioni energetiche relative ad impianti idronici con portata d'acqua variabile al circuito primario" [1], in cui si sono confrontate tra loro le efficienze globali di diversi sistemi refrigeratore/impianto. Gli indici convenzionalmente adottati per valutare l'efficienza energetica di una unità frigorifera sono l'EER (Energy Efficiency Ratio) e l'ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio). Per EER s'intende il rapporto tra potenza frigorifera e potenza assorbita dal refrigeratore (compressori e ventilatori), mentre l'indice ESEER è calcolato in base alla formula seguente:

$$ESEER = EER_{(100\%, 35^\circ\text{C})} \cdot 0.03 + EER_{(75\%, 30^\circ\text{C})} \cdot 0.03 + EER_{(50\%, 25^\circ\text{C})} \cdot 0.41 + EER_{(25\%, 20^\circ\text{C})} \cdot 0.23$$

Per valutare l'efficienza dell'intero sistema gli autori hanno ipotizzato di conteggiare all'interno delle formule precedenti non solo la potenza elettrica assorbita dai compressori ma anche la potenza elettrica assorbita dal gruppo di pompaggio. Gli indici così ottenuti sono stati nominati EER+P ed ESEER+P.

$$EER+P = \text{Potenza frigorifera} / (\text{Potenza assorbita refrigeratore} + \text{potenza assorbita dalle pompe})$$

$$ESEER+P = EER+P_{(100\%, 35^\circ\text{C})} \cdot 0.03 + EER+P_{(75\%, 30^\circ\text{C})} \cdot 0.33 + EER+P_{(50\%, 25^\circ\text{C})} \cdot 0.41 + EER+P_{(25\%, 20^\circ\text{C})} \cdot 0.23$$

Per valutare le differenze in termini di resa globale si è ipotizzato di installare la stessa unità (modello Climaveneta FOCS-CA/B 360) in due impianti diversi:

- a portata costante al primario e secondario a portata variabile
- a portata variabile al primario

% Carico	u.m.	100%	75%	50%	25%
Potenza frigo	[kW]	849	637	425	212
Portata	[m³/h]	146	146	146	146
Potenza assorbita	[kW]	272	166	100	46.3
EER	-	3.12	3.84	4.24	4.58
ESEER	-			4.15	

Tabella 2: Caratteristiche della unità installata



Si riportano qui di seguito le conclusioni di tale analisi:

		% Carico	u.m.	100%	75%	50%	25%
Primario a portata fissa	Portata fissa		[m³/h]	146	146	146	146
	Prevalen. pompa		[kPa]	210			
	Potenza pompa		[kW]	12.1	12.1	12.1	12.1
Secondario portata variabile	Portata variabile		[m³/h]	73.0	36.5	36.5	36.5
	Pompa 1 e 2						
	Prevalenza pompe		[kPa]	141			
	Potenza pompe 1e 2		[kW]	4.66	1.24	1.24	1.24
	Potenza totale pompe secondario		[kW]	9.32	2.48	2.48	2.48
EER-P		-		2.89	3.53	3.70	3.48
ESEER-P		-			3.57		

Tabella 3: Impianto portata fissa al primario e variabile al secondario

		% Carico	u.m.	100%	75%	50%	25%
Portata variabile	Portata variabile		[m³/h]	146	73	73	73
	Potenza pompa		[kPa]	255			
	Potenza pompe		[kW]	14.7	2.99	2.99	2.99
EER-P		-		2.96	3.77	4.12	4.30
ESEER-P		-			4.01		
ΔESEER-P		-			+12.3%		

Tabella 4: Impianto con primario a portata variabile

Un impianto con primario a portata variabile quindi, permette di ottenere un'efficienza di sistema stagionale superiore di più del 12% rispetto ad un impianto convenzionale primario/secondario, valore tutt'altro che trascurabile.

Un'altra analisi degna di nota è quella eseguita da William P. Bahnfleth ed Eric Peyer, della Pennsylvania State University [2]. Questo secondo studio ha identificato i fattori che influenzano l'effettivo risparmio finale, che sono:

- il tipo di impianto
- i carichi richiesti
- il clima della località
- il ΔT
- il numero di chiller costituenti la centrale.

Al variare di questi parametri, l'utilizzo del VPF permette di risparmiare tra il 40 ed il 59% della potenza elettrica assorbita per pompaggio, consentendo quindi risparmi globali di gestione annuale variabili tra il 4 ed il 7%.

I costi di installazione iniziale per la centrale (escludendo l'acquisto delle unità) nel caso di portata variabile sono risultati inferiori mediamente del 37% rispetto al caso a portata costante. Risultato ottenuto senza quantificare l'ulteriore vantaggio ottenibile dal minor spazio tecnico richiesto. In totale il sistema VPF permette dunque risparmi sui costi di installazione globali variabili tra il 4 e l'8%.

In conclusione il VPF consente minori spese di installazione e minori spese di gestione rispetto ai tradizionali sistemi primario/secondario. Lo sviluppo dei controllori ha reso molti chiller adatti alla portata variabile, rendendo questo sistema una reale alternativa a disposizione dei progettisti. Particolarmente adatti sono i refrigeratori dotati di regolazione continua della capacità con pompe a portata variabile integrate a bordo macchina.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fadigà, Pontarollo, Sormani, Climaveneta s.p.a.: "Valutazioni energetiche relative ad impianti idronici con portata d'acqua variabile al circuito primario"
- [2] W. Bahnfleth, E. Peyer, Pennsylvania State University: "Variable primary flow chilled water systems: potential benefits and application issues"

**Climaveneta S.p.A.**

Via Sarson 57/c
36061 Bassano del Grappa (VI)
Italy
Tel +39 0424 509 500
Fax +39 0424 509 509
info@climaveneta.com
www.climaveneta.com

Climaveneta Home System

Via Duca d'Aosta 121
31030 Mignagola (TV)
Italy
Tel +39 0422 4131
Fax +39 0422 413659
info.cvhs@climaveneta.com
www.climaveneta.com

Climaveneta France

3, Village d'Entreprises
ZA de la Couronne des Prés
Avenue de la Mauldre
78680 Epône
France
Tel +33 (0)1 30 95 19 19
Fax +33 (0)1 30 95 18 18
info@climaveneta.fr
www.climaveneta.fr

Climaveneta Deutschland

Rhenus Platz 2
59439 Holzwickede
Germany
Tel +49 2301 91222-0
Fax +49 2301 91222-99
info@climaveneta.de
www.climaveneta.de

**Climaveneta
España - Top Clima**

Londres 67, 1° 4°
08036 Barcelona
Spain
Tel +34 963 195 600
Fax +34 963 615 167
topclima@topclima.com
www.climaveneta.com

**Climaveneta Chat Union
Refrig. Equipment Co Ltd**

88 Bai Yun Rd, Pudong Xinghuo
New dev. zone 201419 Shanghai
China
Tel 008 621 575 055 66
Fax 008 621 575 057 97