

TECHNICAL FOCUS

VPF VARIABLE PRIMARY FLOW

GLI IMPIANTI IDRONICI CON CIRCUITO PRIMARIO A PORTATA VARIABILE (VPF)



Una sempre più crescente attenzione verso la riduzione dei consumi energetici degli impianti di climatizzazione, legata alla ricerca di risparmi nei costi di gestione degli impianti e all'esigenza di ridurre le emissioni di CO₂, sta portando i costruttori di macchine ed i progettisti termotecnici ad esaminare nuove soluzioni impiantistiche alternative agli schemi utilizzati ormai da decenni che, per quanto sempre validi, non sono più ritenuti intoccabili.

Nell'ambito della climatizzazione idronica tra le innovazioni più spesso esaminate negli ultimi anni troviamo gli impianti a portata d'acqua variabile sul circuito primario, altrimenti noti come VPF (Variable Primary Flow).

Lo sviluppo di tali schemi ha avuto inizio negli USA qualche anno fa, ed è stato reso possibile anche grazie all'evoluzione tecnologica dei gruppi di pompaggio a velocità variabile e all'adozione di logiche di controllo sempre più avanzate per la gestione dei chiller modulanti.

SOMMARIO

Introduzione	3
Capitolo 1 Schemi idronici di riferimento.....	4
Capitolo 2 Analisi di un caso studio	8
Capitolo 3 Conclusioni.....	15



La collana "Technical Focus" ha lo scopo di offrire una esemplificazione a puro titolo indicativo dei possibili vantaggi derivanti dall'impiego delle soluzioni innovative Aermec.

Essendo i dati e i risultati presentati nella pubblicazione riferiti a edifici e situazioni specifiche, essi possono variare anche sostanzialmente a seconda delle applicazioni e della destinazione d'uso. Per questa ragione i calcoli e le considerazioni effettuate in questo documento non possono in nessun modo sostituirsi all'attività di progettazione del professionista termotecnico.

Aermec si riserva la facoltà di apportare in qualsiasi momento le modifiche ritenute necessarie per il miglioramento del prodotto con l'eventuale modifica dei dati pubblicati.

© 2016 Aermec, All right reserved.

INTRODUZIONE

La modulazione della portata d'acqua elaborata dalle pompe di impianto al variare del carico (resa possibile dall'impiego di valvole a due vie modulanti sulle batterie di scambio sulle UTA e/o di valvole a due vie ON/OFF sui ventilconvettori) comporta, rispetto alle spese di pompaggio a pieno carico, una riduzione non trascurabile. Basti considerare a tale proposito il fatto che la potenza assorbita dalla pompa è proporzionale alla portata elaborata, ed alla prevalenza erogata al fluido trattato:

$$P_a = \frac{Q \cdot h \cdot \rho}{\eta}$$

Come noto, in un circuito idraulico, le perdite sono correlate al quadrato della portata del fluido in transito:

$$\Delta p = k \cdot Q_w^2$$

Legenda:

Q Portata

h Prevalenza

ρ Densità

η Rendimento



Per cui una riduzione delle portate al 50% del valore nominale porta a ridurre nei tratti comuni del circuito le perdite di carico dell'impianto al 25% circa del valore nominale; è evidente che nonostante la penalizzazione del valore di rendimento della pompa rispetto al valore del punto nominale la riduzione delle spese di pompaggio non sono trascurabili.

La motivazione principale che ha indotto progettisti e costruttori ad affrontare questa tipologia di impianti è legata soprattutto alla volontà di ridurre quanto più possibile le spese di pompaggio dell'impianto, ed intervenire quindi non solo sui consumi legati alla distribuzione dell'acqua lato utenze, accorgimento comunemente adottato già da parecchi anni, ma anche sui consumi legati al pompaggio del fluido termovettore attraverso i refrigeratori e gli organi principali della centrale termo-frigorifera.

Ovviamente in buona parte degli impianti l'estensione dei tratti del circuito dedicati alla distribuzione (circuito secondario) è assai maggiore di quelli localizzati nella centrale termo-frigorifera (circuito primario), per cui buona parte dei risparmi energetici sul pompaggio vengono normalmente già conseguiti con la modulazione della portata acqua sul secondario; l'ulteriore risparmio energetico ed economico legato alla portata variabile sul primario, permette di rendere comunque sempre più performanti impianti comunque già efficienti, e costituisce una misura di efficientamento energetico normalmente non onerosa dal punto di vista economico.

Tale innovazione nel modo di progettare impianti coinvolge in maniera diretta i costruttori delle macchine per il condizionamento, viste le notevoli problematiche che si possono riscontrare nella gestione di uno o più refrigeratori attraversati da una portata d'acqua variabile durante il funzionamento.

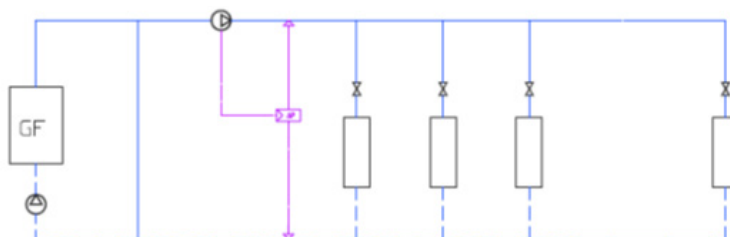
Prenderemo in esame in linea generale lo stato dell'arte, cioè le più comuni soluzioni d'impianto con refrigeratori e pompe di calore riconducibili allo schema VPF; metteremo in evidenza i principali accorgimenti da adottare nella scelta delle macchine, nel disegno dell'impianto, nella messa a punto della regolazione al supporto del sistema, e faremo alcune valutazioni sui potenziali risparmi ottenibili su un impianto di riferimento.

Al di là delle considerazioni generali e dell'esempio trattato è fondamentale ricordare che nell'adozione di questa nuova modalità impiantistica ogni singolo caso andrà trattato singolarmente, esaminandone le criticità e facendo le necessarie valutazioni sulla fattibilità e sulla convenienza, in funzione delle specifiche macchine selezionate ed della configurazione ed estensione dell'impianto.



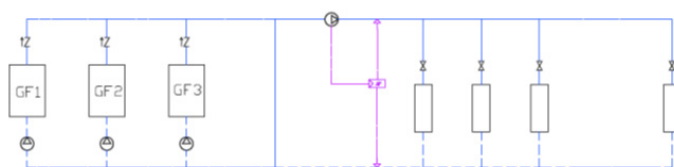
Capitolo 1 SCHEMI IDRONICI DI RIFERIMENTO

Qui di seguito vengono riportati i due schemi impiantistici più comuni che sono sempre stati utilizzati per un impianto idronico di climatizzazione estiva e/o invernale (il primo con un solo refrigeratore, il secondo con più refrigeratori in parallelo).



Schema 1-a: impianto a doppio anello con singolo refrigeratore.

Come noto, tali schemi a doppio anello prevedono l'esistenza di due circuitazioni (il circuito primario, localizzato solitamente in prossimità della centrale termofriferica, ed il circuito secondario, al servizio delle utenze).



Schema 1-b: impianto a doppio anello con più refrigeratori in parallelo.

Come è riportato negli schemi idronici sopra riportati, il doppio anello ha lo scopo di mantenere costante la portata d'acqua allo scambiatore di ogni refrigeratore. Nel caso di più chiller in parallelo (supportati da regolazione Aermec Multi-Chiller) la riduzione del carico si traduceva nel progressivo spegnimento delle macchine e delle rispettive pompe.

Il motivo principale di questa attenzione è legato al comportamento del circuito frigorifero durante un transitorio con variazione nella portata d'acqua; normalmente i gruppi possono accettare portate d'acqua con valori che appartengono ad un campo abbastanza ampio (solitamente la massima portata corrisponde a un ΔT di circa 3°C, e la minima portata corrisponde a valori di ΔT intorno ai 10°C per funzionamento a pieno carico); portate d'acqua troppo basse determinerebbero infatti l'instaurarsi di un regime laminare all'interno dello scambiatore, con sensibile riduzione dei coefficienti di scambio, e portate d'acqua troppo alte causerebbero vibrazioni ed erosione delle superfici dello scambiatore.

Non ci sono problemi se avvengono variazioni di portata in modo sufficientemente graduale (entro i limiti imposti dal costruttore) a gruppo frigorifero acceso. La situazione più critica riguarda invece il caso in cui ciò avvenga in maniera brusca; ciò comporterebbe infatti variazioni nel funzionamento del circuito frigorifero che la valvola termostatica tenderà a compensare, ma in modo non istantaneo, e che potrebbero mettere in pericolo i compressori.

Un improvviso aumento della portata d'acqua farà aumentare istantaneamente

Sistema AERMEC MULTI-CHILLER



Visualizzatore pGD³



Scheda elettronica pCO1



Valvola Termostatica Elettronica

lo scambio termico sull'evaporatore, e nel transitorio ciò significa maggiore surriscaldamento e un leggero aumento della temperatura di evaporazione, questa situazione normalmente non è rischiosa per i compressori.

Una improvvisa diminuzione della portata d'acqua invece riduce lo scambio all'evaporatore, riducendo istantaneamente il surriscaldamento che potrebbe annullarsi, la situazione è potenzialmente pericolosa per i compressori perché potrebbe portare a ritorni di liquido.

Una valvola elettronica al posto della termostatica meccanica è più pronta nell'adattarsi a compensare eventuali disturbi sulla portata d'acqua, ma per essere sufficientemente precisa ed evitare pendolazioni anche essa deve agire con tempi sufficientemente lunghi, solitamente qualche decina di secondi; nel caso si tratti di impianti che prevedono variazioni di portata sui refrigeratori, è assai opportuno prevederla, ma l'accorgimento non è di per sé sufficiente a mettere al riparo il chiller da ogni criticità.

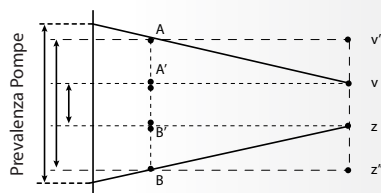
Sarà comunque necessario prevedere ulteriori accorgimenti volti a garantire il transito di una portata di acqua corretta su ognuno dei refrigeratori in funzione, per evitare allarmi di flusso, penalizzazioni eccessive nello scambio termico, oltre ad assicurare variazioni di portata sufficientemente graduali sulle macchine.

A tale proposito si ritiene cautelativo utilizzare sull'impianto di distribuzione organi modulanti che assicurino una riduzione della portata dell'acqua inferiore al 10% al minuto del valore nominale.

inoltre, onde evitare il raggiungimento di valori fuori limite della portata che attraversa lo scambiatore, è necessario installare un ramo di by-pass con apposita valvola modulante nelle immediate vicinanze della centrale termo-frigorifera.

La maggiore complessità della regolazione degli impianti VPF richiede nuove logiche di gestione integrate, spesso implementate da apposite schede aggiuntive, in cui la parzializzazione dei compressori è sempre ottenuta con regolazione della temperatura in mandata, ma appositi controllori di sistema sono in grado di coordinare le azioni sugli attuatori del circuito idraulico (pompe, valvole di by-pass) con l'azione di regolazione dei processori dei chiller.

Profilo andamento delle pressioni al variare delle posizioni delle sonde.



Qui di seguito sono riportati alcuni schemi di impianto che prevedono la portata variabile sui refrigeratori, ed una breve descrizione della logica di gestione degli stessi.

Il primo schema (schema 2-a) si riferisce al caso di impianto a singolo anello a portata variabile con un singolo refrigeratore.

La gestione del sistema è integrata nelle funzioni del processore del refrigeratore, o affidata ad un controllore ausiliario normalmente fornito dal costruttore, ed è in grado di interagire con il refrigeratore d'acqua, il gruppo di pompaggio e una valvola modulante posizionata sul ramo di by-pass.

La portata d'acqua inviata alle utenze viene modulata in funzione dell'effettiva richiesta dei terminali attraverso una regolazione della pompa che mantiene costante il differenziale di pressione tra la mandata e ritorno in due punti opportunamente scelti. La scelta più opportuna della posizione delle sonde di pressione è affidata a considerazioni del progettista legate alle caratteristiche dello specifico impianto.

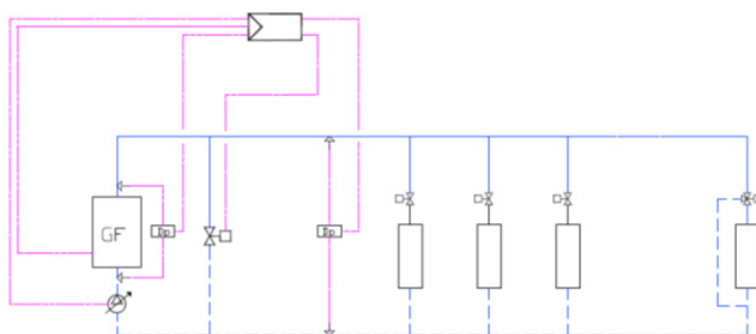
Il refrigeratore, che a sua volta modula la potenza erogata in base alla temperatura di mandata, richiede comunque il mantenimento di un valore minimo di portata fluente attraverso lo scambiatore (normalmente dell'ordine del 50% della portata nominale), per cui il controllore di sistema esegue il monitoraggio di tale valore tramite un secondo rilevatore di pressione differenziale collocato ai capi dell'evaporatore. Raggiunto il valore minimo ammissibile di portata sul chiller, si blocca il numero di giri della pompa che non viene ulteriormente ridotto, l'ulteriore diminuzione di portata richiesta sulle utenze viene ottenuta attraverso la graduale apertura di una valvola a due vie modulante posta sul ramo di by-pass.

Una logica del tutto analoga presiede il funzionamento di un impianto a singolo anello a portata variabile con più refrigeratori in parallelo (schema 2-b).

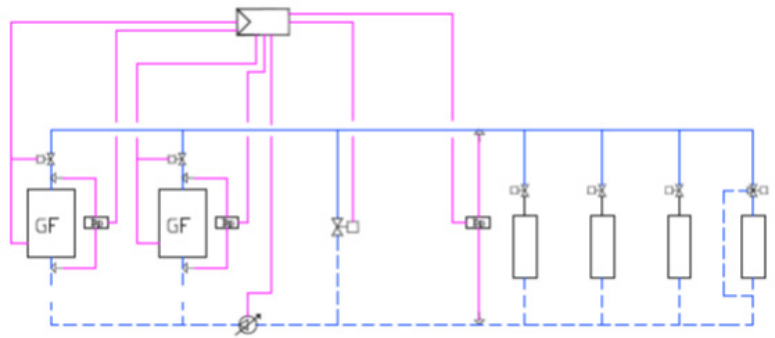
Al variare della portata richiesta dalle utenze (funzione del grado di apertura delle valvole a due vie modulanti e/o ON-OFF dei termostati locali), il regolatore interagisce con la pompa ad inverter modulandone il numero di giri e mantenendo il funzionamento parzializzato di entrambi i refrigeratori, ciascuno attraversato da una portata acqua ridotta.

Questo funzionamento favorisce sia i vantaggi energetici legati al funzionamento parzializzato dei refrigeratori, sia quelli legati alla riduzione delle spese di pompaggio dell'intero sistema di distribuzione.

Al raggiungimento della portata minima ammissibile sui chiller, il regolatore interviene nel gestire l'apertura della valvola di by-pass e lo spegnimento progressivo dei chiller, con la conseguente chiusura del ramo corrispondente; lo spegnimento ed intercettazione progressiva dei chiller permette di modulare la portata complessiva nel rispetto della portata minima su quelli rimasti in funzione.



Schema 2-a: impianto a singolo anello a portata variabile con singolo refrigeratore



Schema 2-b: impianto a singolo anello a portata variabile con più refrigeratori

Queste soluzioni comportano vantaggi energetici da valutare sul singolo caso in funzione dell'architettura dell'impianto, della tipologia di macchina scelta, del profilo di carico stagionale e del profilo climatico della località in cui è installato l'impianto.

Successivamente andremo ad analizzare un caso-studio di un impianto idronico utilizzato per il raffrescamento di un edificio ad uso uffici, alimentato da un chiller aria-acqua con compressori a vite e evaporatore a fascio tubiero.

L'analisi conferma la convenienza di un impianto VPF rispetto ad una soluzione tradizionale con pompa a portata costante sul circuito primario e portata variabile sul secondario.



Esempio di un locale ad uso ufficio



NSM3202X°°E°°°00

Simulazione eseguita tramite il programma di selezione Magellano, disponibile per il download dall'area supporto del sito di Aermec.



Capitolo 2 ANALISI DI UN CASO STUDIO

Per valutare i potenziali risparmi energetici ed economici di una soluzione con portata variabile al primario rispetto a soluzioni più tradizionali, prendiamo in considerazione la climatizzazione estiva di un edificio ad uso uffici servito da un impianto a due tubi; l'impianto, alimentato da apposita centrale termica durante la stagione invernale, è servito da un refrigeratore con compressori a vite e scambiatori a fascio tubiero.

Di seguito riportiamo le caratteristiche dell'edificio considerato:

località: Roma

temperatura esterna di progetto estiva: 35°C

umidità relativa esterna di progetto: 45%

destinazione: uso uffici

Profilo di attivazione dell'impianto: 5 giorni/settimana, dalle 7 alle 19, stagione estiva (mesi: maggio - settembre)

Superficie calpestabile: 900 mq/piano, 7 piani; Stot = 6300 mq

Tipologia di impianto: aria primaria + ventilconvettori

Carico frigorifero di picco: 713 kW

Refrigeratore: AERMEC NSM3202X°°E°°°00, selezionata alle seguenti condizioni:

Raffreddamento

Potenza resa	kW	740,55
Potenza assorbita	kW	238,58
Corrente assorbita	A	389,15
E.E.R.	W/W	3,10
E.S.E.E.R.	W/W	4,07
Temperatura dell'aria in ingresso a bulbo secco		
	°C	35,00
Temperatura dell'acqua in ingresso		
	°C	12,19
Salto termico		
	°C	5,19
Temperatura dell'acqua in uscita		
	°C	7,00
Glicole etilenico		
	%	0
Portata acqua		
	l/h	122.763
Perdite di carico		
	kPa	23,89

I dati nominali del circuito idraulico, riferiti al funzionamento a pieno carico, sono i seguenti:

Soluzione 1 (impianto tradizionale):

Circuito Primario:

Portata acqua	mc/h	123,8
Perdita di carico	kPa	48

Circuito Secondario:

Portata acqua pieno carico	mc/h	123,8
Perdita di carico	kPa	154

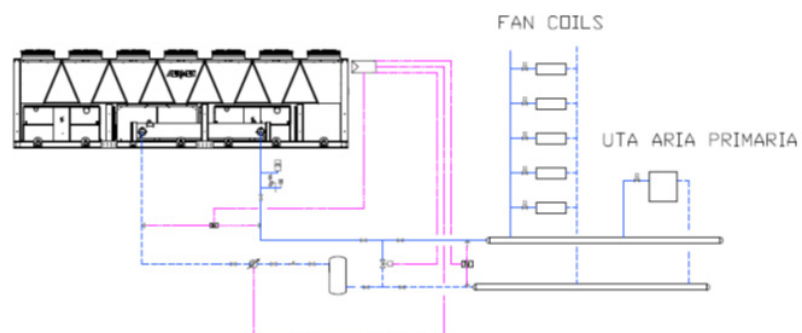
Soluzione 2 (impianto VPF):

Portata acqua pieno carico	mc/h	123,8
Perdita di carico	kPa	194

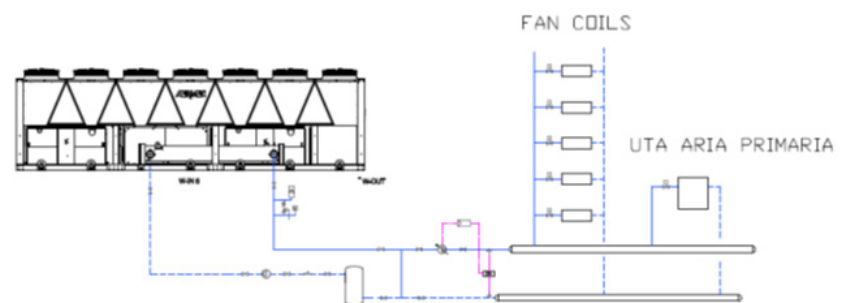
L'impianto di climatizzazione è del tipo ad aria primaria e ventilconvettori, prevede quindi la presenza di una centrale di trattamento aria per l'aria di rinnovo (aria neutra), e il controllo delle condizioni di temperatura locale per locale tramite ventilconvettori installati nei singoli locali serviti.

Si riporta uno schema funzionale di impianto, nel caso di soluzione tradizionale e nel caso di soluzione VPF.

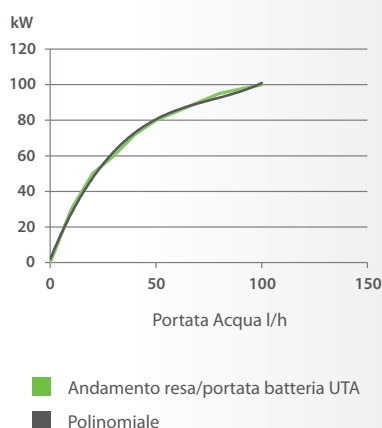
Schema funzionale impianto – soluzione VPF



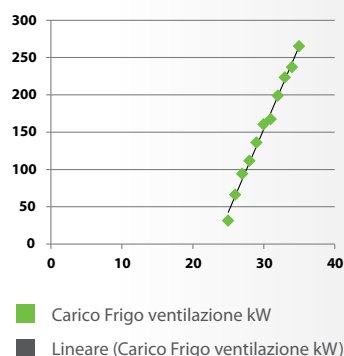
Schema funzionale impianto con circuito tradizionale a doppio anello



ANDAMENTO PORTATA/POTENZA
BATTERIA MODULANTE (UTA)



ANDAMENTO PORTATA/POTENZA
BATTERIA ON-OFF (FAN COIL)



La modulazione della potenza frigorifera sulla batteria della UTA (con controllo della temperatura in mandata a punto fisso) avviene tramite valvola a due vie modulante; la regolazione dei terminali in ambiente avviene invece attraverso cicli di ON-OFF sulla ventilazione con valvola a due vie ON - OFF aperta alla richiesta del termostato locale. La portata dell'acqua alle utenze viene mantenuta proporzionale alla effettiva richiesta tramite una regolazione a pressione differenziale costante tra il collettore di mandata ed il collettore di ritorno che agisce sulla pompa del secondario nel caso di soluzione tradizionale e sul gruppo di pompaggio unico nel caso di soluzione VPF.

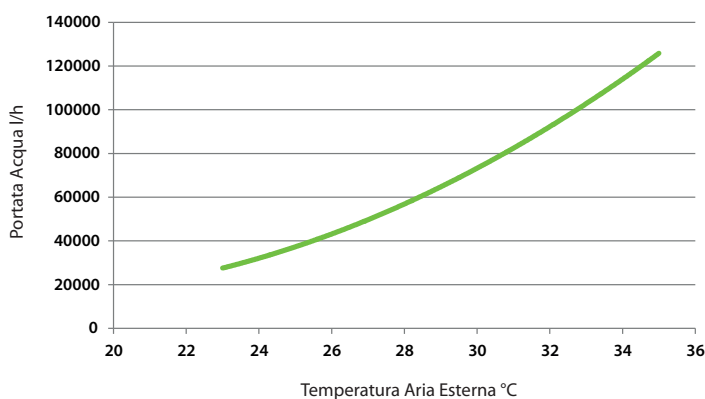
La portata d'acqua inviata ai terminali è in ogni istante mediamente proporzionale alla potenza frigorifera richiesta, al contrario della portata richiesta dalla batteria della UTA che segue un andamento non lineare.

CONSUMI ENERGETICI EDIFICIO

Il calcolo previsionale dei consumi energetici del refrigeratore riferito alla stagione estiva è stato condotto considerando il carico frigorifero legato alla ventilazione (coperto dalla UTA) e quello legato alla trasmissione, all'irraggiamento e ai carichi interni (coperto dai ventilconvettori) dipendente dalla temperatura esterna. Per il calcolo degli assorbimenti elettrici dell'impianto di climatizzazione estiva utilizziamo quindi il legame seguente tra temperatura esterna, potenza frigorifera richiesta e portata acqua inviata ai terminali (UTA + fan coils) sotto riportato:

Portata Acqua Utenze		
T Esterna °C	P Frigo kW	Q Acqua l/h
35	714	122693
34	662	117413
33	623	106227
32	575	92010
31	519	78497
30	488	72715
29	439	63997
28	390	56654
27	349	50823
26	297	44613
25	237	38102
24	182	31254
23	158	27084

PORTATA ACQUA CIRCUITO IMPIANTO



Portata acqua media circuito utenze in funzione della temperatura esterna



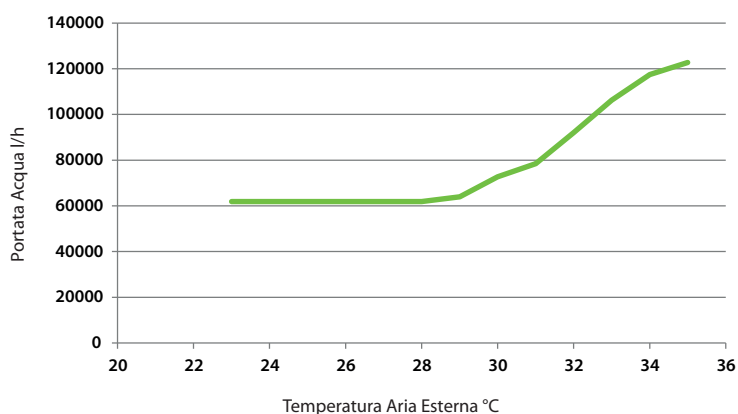
UTA: Unità di trattamento aria della serie NCD utilizzata per effettuare il rinnovo dell'aria richiesto dalla presenza di persone .



FCZ: fancoil utilizzato per soddisfare il carico sensibile e latente nei vari uffici.

La portata acqua inviata alle utenze e così determinata si riferisce a quella circolante sul circuito secondario, o nel caso VPF a quella inviata ai collettori lato utenze; in quest'ultimo caso però la portata minima acqua elaborata dal refrigeratore è pari al 50% del valore nominale, per cui il legame tra temperatura esterna – carico e portata acqua del chiller è in questo caso quello illustrato qui di seguito:

Portata acqua chiller (min 50%)		
T Esterna °C	P Frigo kW	Q Acqua l/h
35	714	122693
34	662	117413
33	623	106227
32	575	92010
31	519	78497
30	488	72715
29	439	63997
28	390	61911
27	349	61911
26	297	61911
25	237	61911
24	182	61911
23	158	61911

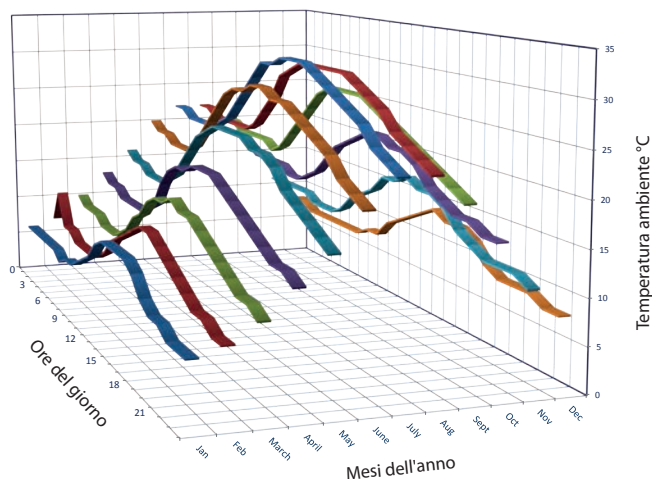


Portata acqua media pompa VPF in funzione della temperatura esterna

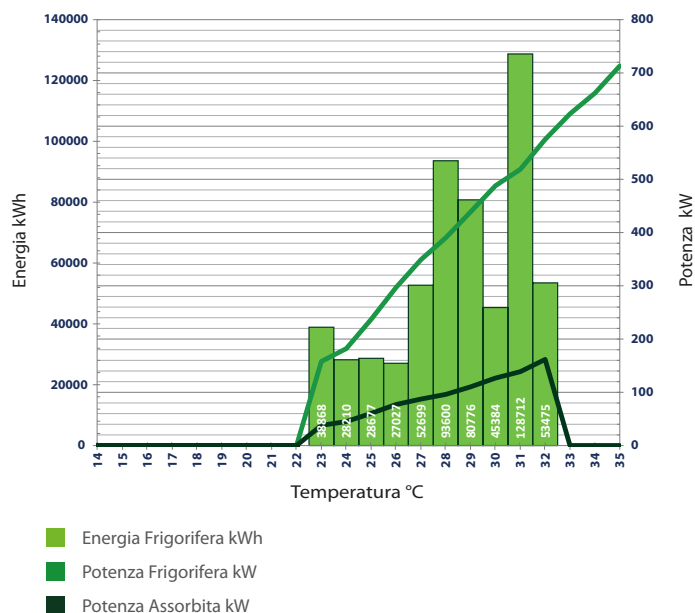
E' stata determinata la frequenza di accadimento di ogni valore di temperatura nell'arco dell'intero anno, facendo riferimento alla località (Roma) ed alle fasce orarie di effettiva utilizzazione dell'impianto.

Per ogni valore di temperatura è stato calcolato, in funzione del grado di parzializzazione del gruppo frigorifero, il valore di potenza assorbita tramite l'impiego del programma AERMEC ACES; è fondamentale osservare che tale valore non considera gli assorbimenti dei gruppi di pompaggio che per altro sono esterni al gruppo frigorifero; questi valori sono stati calcolati a parte.

Profilo orario medio mensile della temperatura Località Roma



Analisi prestazioni chiller: NSM3202E



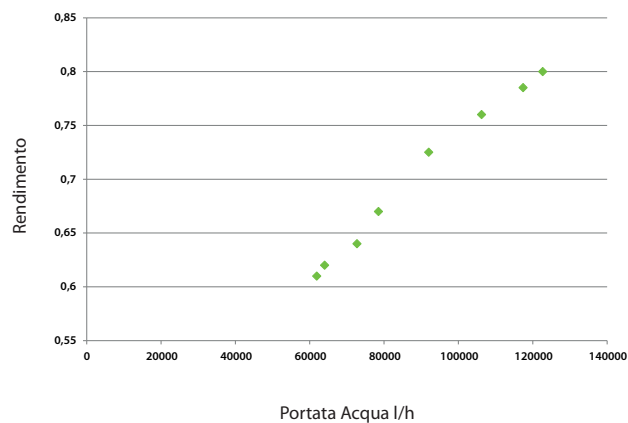
Il programma ACES è uno strumento messo a punto da AERMEC per il calcolo dei consumi e dell'efficienza a livello stagionale dei refrigeratori (sia su singolo refrigeratore che su refrigeratori in parallelo), viene utilizzato per analisi energetiche evolute, con cui è possibile ottimizzare la scelta dei chiller e la strategia di gestione dei gruppi frigoriferi in parallelo, per ottenere il massimo dell'efficienza energetica di sistema.

Altrettanta cura va dedicata al calcolo delle spese di pompaggio, dato che su questo aspetto si giocano i vantaggi energetici ed economici tra soluzione tradizionale e VPF. Il calcolo della potenza consumata dai gruppi di pompaggio alle varie condizioni di portata/prevalenza tiene conto del decadimento del rendimento al variare del punto di lavoro (sia per la pompa a servizio del circuito secondario nell'impianto tradizionale sia per la pompa unica nell'impianto VPF).

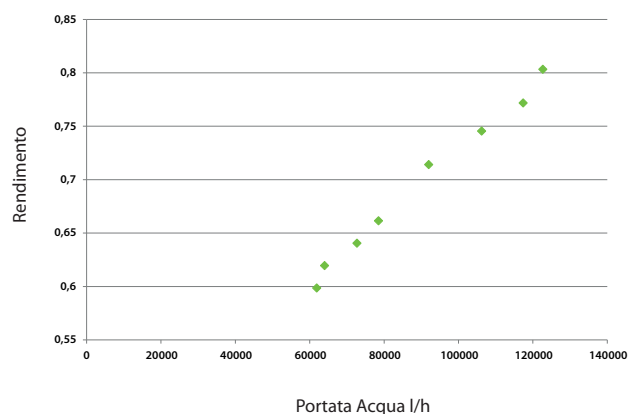


Pompa Inverter

Rendimento Pompa Circuito Secondario Impianto Tradizionale



Rendimento Pompa Unica Impianto VPF

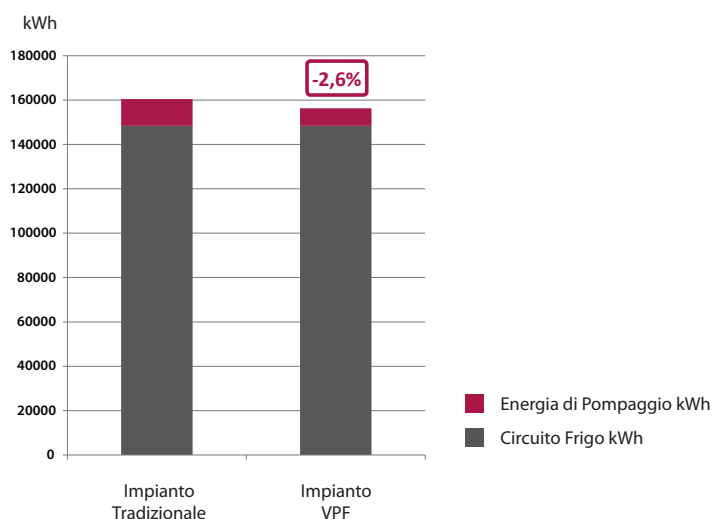
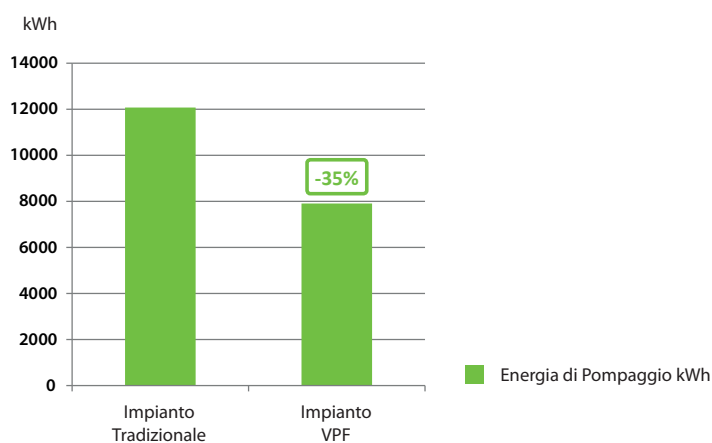


- (1) Il maggiore costo della soluzione VPF tiene conto dei seguenti componenti: 2 misuratori di portata sugli scambiatori, by-pass con valvola modulante, regolatore supplementare per sistema VPF
- (2) Costo energia elettrica 0,18 € / kWh
- (3) Tasso di interesse annuo 4%, tasso di inflazione 2%, vita utile impianto 15 anni

Qui di seguito sono riportati i risultati del calcolo sia riferiti alle sole spese di pompaggio sia riferiti all'assorbimento energetico complessivo (chiller + gruppi di pompaggio) e l'esito del confronto tra i due impianti.

		Impianto tradizionale	Impianto VPF
Assorbimento pompe	(kWh)	12070	7907
Assorbimento refrigeratore	(kWh)	148335	148335
Assorbimento totale	(kWh)	160405	156262
Maggiore costo VPF / tradizionale	(€) (1)		1500
Risparmio costo energia VPF / tradizionale	(€/anno) (2)		749
Pay back period	(anni)		2 anni
VAN differenziale VPF / tradizionale	(€) (3)		7963

CONFRONTO SPESE DI POMPAGGIO TRA UN IMPIANTO TRADIZIONALE E UN IMPIANTO VPF



Capitolo 3 CONCLUSIONI

I risparmi energetici sul pompaggio non sono trascurabili tra i due casi; in termini percentuali sul totale dei consumi non sono valori elevatissimi, come era da attendersi considerando il fatto che l'incidenza delle spese di pompaggio del solo circuito primario non rappresentano certo la prima voce di consumo.

Si tratta in ogni caso di una misura di efficienza energetica relativamente a basso costo, considerando che i maggiori costi dei componenti previsti per l'impianto VPF (controllore, valvola modulante sul by-pass, misuratori di portata acqua sugli evaporatori) hanno proporzioni non rilevanti per impianti di potenza medio-alta.

Tale misura ha dunque tempi di ritorno piuttosto brevi (di solito intorno ai 3 anni), ed è un investimento con valore attuale netto positivo non trascurabile nell'arco della vita utile dell'impianto, per cui rappresenta una scelta conveniente, non solo dal punto di vista ambientale.



Aermec S.p.A. via Roma 996 - 37040 Bevilacqua (VR) Italy
T. +39 0442 633111 F. +39 0442 93577
marketing@aermec.com
www.aermec.com