

SCAMBIATORI DI CALORE A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

LA PROPOSTA LU-VE PER LA RIDUZIONE DEL CONSUMO ENERGETICO:

SISTEMA PLUG&SAVE

Autori: Stefano Filippini, Umberto Merlo

LU-VE SpA, 21040 Uboldo, Varese, Italia

Negli ultimi anni sta diventando molto importante la ricerca di soluzioni volte alla riduzione del consumo energetico.

Questo articolo si concentra su una soluzione recentemente sviluppata da LU-VE; applicata a aereo-evaporatori per celle frigorifere; essa consiste in un innovativo sistema di controllo che può essere installato a bordo dell'unità di raffreddamento stessa ed è quindi in grado di funzionare correttamente in ambienti freddi (fino a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), umidi e con la presenza di ghiaccio. Questo controllore aziona la valvola di espansione elettronica che alimenta l'unità di raffreddamento stesso. Il sistema combina l'efficienza della valvola elettronica con la semplicità di una soluzione plug-and-play, da cui deriva il suo nome, *PLUG&SAVE*. Avere un sistema già montato semplifica notevolmente l'installazione, facilita la costruzione dell'impianto e promuove l'uso di valvole elettroniche che permettono una riduzione del consumo energetico; infatti, la maggiore precisione della valvola permette che il surriscaldamento dell'evaporatore sia contenuto e quindi di aumentare la temperatura di evaporazione, mentre l'ampio campo di funzionamento della valvola permette di lavorare con una condensazione flottante riducendo la temperatura di condensazione nei periodi freddi.

Sistema *PLUG&SAVE* per valvole di espansione elettroniche

Negli ultimi anni le valvole elettroniche stanno aumentando di molto la loro diffusione nel campo della refrigerazione, tuttavia il loro potenziale è ancora in parte inespresso, basti pensare che al giorno d'oggi ancora molti installatori si affidano alla tradizionale valvola di laminazione termostatica, nonostante i vantaggi garantiti da questo tipo di valvola siano molteplici soprattutto per quanto concerne le prestazioni energetiche degli impianti.

Tra questi vantaggi possiamo citare senz'altro la possibilità di avere una condensazione del tipo flottante in grado di adattarsi al meglio alle condizioni ambientali, questo permette al ciclo di portarsi ad una pressione di condensazione inferiore qualora la temperatura ambiente si allontani dalle condizioni di progetto (in genere le più gravose), portando ad una diminuzione del lavoro di compressione e quindi ad un aumento del COP del ciclo. A riprova di ciò in Figura 1 viene presentata una prova relativa ad una cella per la conservazione della carne, nella quale sono state testate sia valvole di tipo standard che valvole di tipo elettronico di tipo proporzionale.

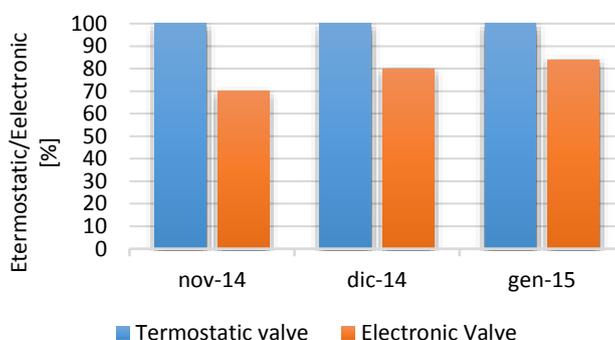


Figura 1: Confronto tra valvola termostatica e valvola tradizionale, consumi invernali.

Come è evidente dal grafico, che presenta le stagioni durante le quali le temperature ambiente sono più basse, la possibilità di utilizzare un sistema di condensazione flottante porta ad una drastica riduzione dei consumi energetici, che si assesta nel caso studiato al 25%. Oltre a questo vantaggio, la valvola elettronica consente di avere un controllo del surriscaldamento più preciso, permettendo di alzare la temperatura di evaporazione. Infine una valvola elettronica presenta un campo di lavoro molto più ampio e una capacità di adeguarsi alle variazioni del carico molto superiori, il che porta a ridurre il tempo di messa a regime della cella (pull-down), ovvero migliora la capacità di raffreddare in breve tempo le derrate alimentari da conservare.

Per queste ragioni LU-VE ha sviluppato (con l'ausilio di CAREL S.p.a.) un sistema innovativo denominato *PLUG&SAVE* che prevede il montaggio della valvola e del controllore direttamente a bordo dell'evaporatore per celle frigorifere.



Figura 2: Schema del sistema PLUG&SAVE

Il sistema è piuttosto semplice, come può essere osservato dalla Figura 2 esso è composto dalle seguenti parti:

1. Controllore: innovativa scheda elettronica realizzata con tecnologia overmoulding per poter lavorare in ambiente umido e con ghiaccio fino a -30°C; la scheda gestisce tutti i parametri della valvola e contiene dei programmi preimpostati per il funzionamento su evaporatore da cella, minimizzando le operazioni di messa in esercizio in campo
2. Sensore di temperatura e pressione: entrambi da porre in corrispondenza del collettore di uscita dall'evaporatore permettono la valutazione del grado di surriscaldamento;
3. Valvola elettronica di tipo proporzionale.

Il sistema è molto semplice da utilizzare ed è facile eseguire i cablaggi necessari, bisogna infatti ricordare come la scheda sia alimentata direttamente dalla rete a 230V, senza necessità alcuna di un trasformatore ausiliario. Inoltre il settaggio del dispositivo è molto semplice: basta infatti definire il tipo di fluido (all'interno del controllore è presente un database di 24 fluidi diversi) ed il sistema è completamente funzionante. Inoltre è previsto un cavo "Modbus" per permettere un'ulteriore comunicazione con un eventuale sistema di supervisione e controllo.

Confrontando il nuovo Plug & Save rispetto all'installazione tradizionale di una valvola elettronica con controllore posto fuori cella, si può affermare che i tempi di cablaggio si dimezzano.

Effetto dell'abbassamento della temperatura minima di condensazione (Ventilatori EC - Controllo PID)

Come abbiamo precedentemente sottolineato, l'utilizzo di valvole elettroniche rispetto a quelle tradizionali meccaniche, permette una forte riduzione di energia consumata durante il funzionamento annuale; il differenziale di pressione può essere ridotto fino a 6 bar o meno; di conseguenza, i valori limite minimi di temperatura di condensazione si portano rispettivamente a 19°C (10,6 bar) e 10°C (8,2 bar), utilizzando come fluido refrigerante l'R404A.

In particolare nei mesi freddi, dove la temperatura esterna consente la riduzione della temperatura di condensazione e di conseguenza aumenti del COP. Per eseguire tale comparazione energetica ed economica, a diverse temperature minime di condensazione, occorre fissare alcuni vincoli di calcolo.

- Aero-condensatore Lu-Ve: XDHVN a 7 ventilatori
- Potenza frigorifera massima: 265 kW
- Temperatura di evaporazione: -10 °C e -30 °C
- Fluido refrigerante: R404A
- Tempo di funzionamento annuo: 5700 h
- Compressore semi-ermetico
- Località: Milano
- Costo dell'energia elettrica: 0,10 €/kWh

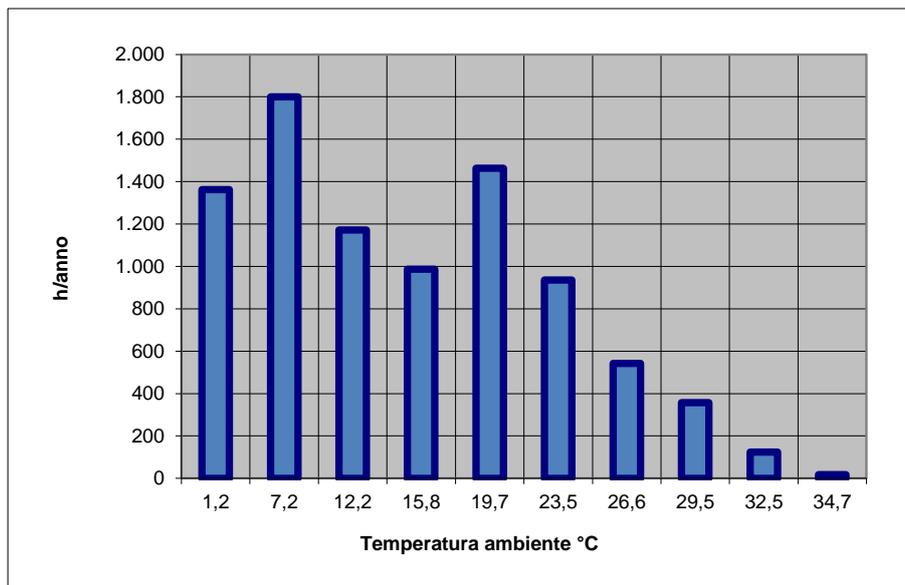


Figura 3: distribuzione di temperatura cumulata in località Milano

In figura 3 si riporta la distribuzione di temperatura della città di Milano rapportata alle ore/anno. Questa distribuzione di temperatura è stata suddivisa in 10 periodi, entro i quali eseguire i bilanci energetici.

In figura 4 si riassume il consumo energetico nei vari periodi dell'anno e il totale, al variare della temperatura minima di condensazione, nonché le variazioni percentuale rispetto alla configurazione di riferimento corrispondente ad una temperatura minima di condensazione di 24°C (T evaporazione = -10°C).

A fronte di un consumo annuo di energia di 463057 kWh/anno con $T_c \text{ min}=24^\circ\text{C}$, corrispondente a 46305,7 €/anno, è possibile risparmiare - spostando la $T_c \text{ min}$ a 19°C (adottando valvole elettroniche) - un valore di circa **2916 €/anno** (pari al 6,3% del valore complessivo).

Tale vantaggio economico avviene nei mesi più freddi, a partire dal periodo 7, con temperatura ambiente esterna di 15,8°C.

PID REGULATION											Location	MILAN	
											Tcond on design	40°C	
											Tevap.	-10°C	
											Energy cost	0,10 €/kWh	
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7	Period 8	Period 9	Period 10	TOT		Tcond min
Tambient	34,0	32,5	29,5	26,6	23,5	19,7	15,8	12,2	7,2	1,2			
h/year	18	125	357	543	936	1463	987	1171	1799	1362			
Total power consumption	1507	10036	26524	36925	57942	80458	47455	49137	64545	47466	421995	kWh/anno	16 °C
	1507	10036	26524	36925	57942	80458	47455	48641	71500	52905	433894	kWh/anno	19 °C
	1507	10036	26524	36925	57942	80458	46671	52590	78748	58361	449761	kWh/anno	22 °C
	1507	10036	26524	36925	57942	80458	48351	55686	83626	62002	463057	kWh/anno	24 °C
Delta power consumption	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-1,9%	-11,8%	-22,8%	-23,4%	-8,9%	%	16 °C
	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-1,9%	-12,7%	-14,5%	-14,7%	-6,3%	%	19 °C
	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-3,5%	-5,6%	-5,8%	-5,9%	-2,9%	%	22 °C
Reference	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	%	24 °C

Figura 4: tabella riassuntiva funzionamento annuale a diverse temperatura minime di condensazione (Tev=-10°C)

In figura 5 e 6 si riportano i grafici rappresentativi dei consumi annui in forma assoluta (kWh/anno) e percentuale, in funzione della temperatura dell'aria esterna (pozzo caldo per aero-condensatore). Il fascio di curve si riferisce a diversi valori di temperatura minima di condensazione adottabile sull'impianto.

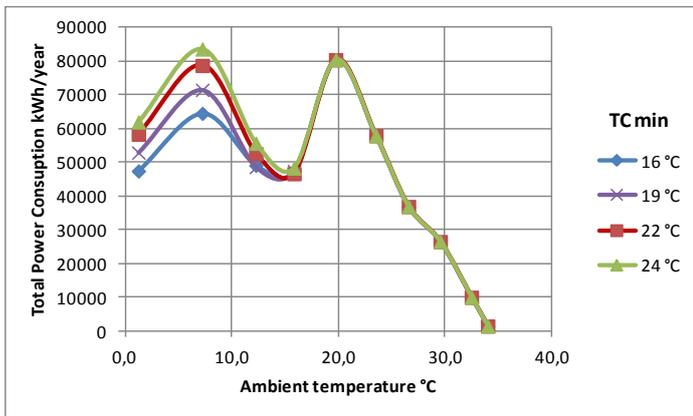


Figura 5

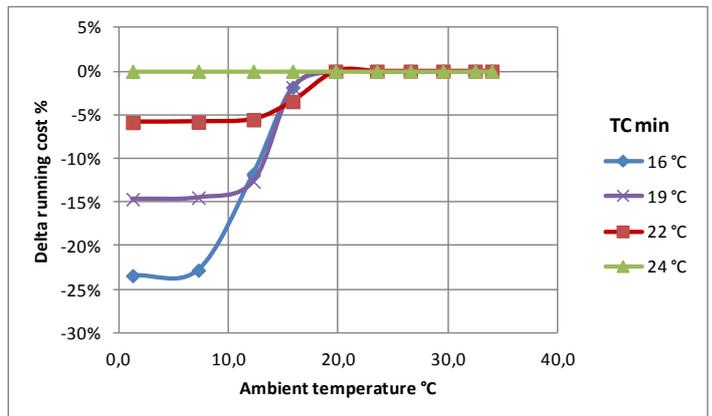


Figura 6

In figura 7 si riassume il consumo energetico nei vari periodi dell'anno e il totale, al variare della temperatura minima di condensazione, nonché le variazioni percentuali rispetto alla configurazione di riferimento corrispondente ad una temperatura minima di condensazione di 24°C (T evaporazione = -30°C).

A fronte di un consumo annuo di energia di 763880 kWh/anno con Tc min=24°C, corrispondente a 76388 €/anno, è possibile risparmiare - spostando la Tc min a 19°C (adottando valvole elettroniche) - un valore di circa **3186 €/anno** (pari al 4,2% del valore complessivo).

Tale vantaggio economico avviene nei mesi più freddi, a partire dal periodo 7, con temperatura ambiente esterna di 15,8°C.

PID REGULATION											Location	MILAN	
											Tcond on design	40°C	
											Tevap.	-30°C	
											Energy cost	0,10 €/kWh	
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4	Period 5	Period 6	Period 7	Period 8	Period 9	Period 10	TOT		Tcond min
Tambient	34,0	32,5	29,5	26,6	23,5	19,7	15,8	12,2	7,2	1,2			
h/year	18	125	357	543	936	1463	987	1171	1799	1362			
Total power consumption	2228	14964	40248	57159	91764	131635	80829	87482	117935	78822	703065	kWh/anno	10 °C
	2228	14964	40248	57159	91764	131635	80829	87482	122230	90277	718816	kWh/anno	16 °C
	2228	14964	40248	57159	91764	131635	80829	87301	129763	96132	732023	kWh/anno	19 °C
	2228	14964	40248	57159	91764	131635	80202	91656	137574	102002	749432	kWh/anno	22 °C
	2228	14964	40248	57159	91764	131635	82131	95006	142826	105920	763880	kWh/anno	24 °C
Delta power consumption	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-1,6%	-7,9%	-17,4%	-25,6%	-8,0%	%	10 °C
	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-1,6%	-7,9%	-14,4%	-14,8%	-5,9%	%	16 °C
	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-1,6%	-8,1%	-9,1%	-9,2%	-4,2%	%	19 °C
	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-2,3%	-3,5%	-3,7%	-3,7%	-1,9%	%	22 °C
Reference	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	%	24 °C

Figura 7: tabella riassuntiva funzionamento annuale a diverse temperatura minime di condensazione (Tev=-30°C)

Ripetendo l'esercizio precedente, riducendo la temperatura minima di condensazione da 19 a 10°C, tra valvole tradizionali ed elettroniche, è possibile risparmiare un valore di circa 2896 €/anno .

In figura 8 e 9 si riportano i grafici rappresentativi dei consumi annuali in forma assoluta (kWh/anno) e percentuale, in funzione della temperatura dell'aria esterna (pozzo caldo per aero-condensatore). Il fascio di curve si riferisce a diversi valori di temperatura minima di condensazione adottabile sull'impianto.

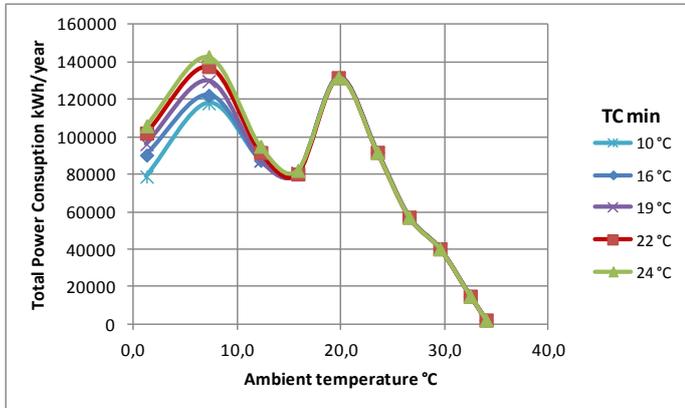


Figura 8

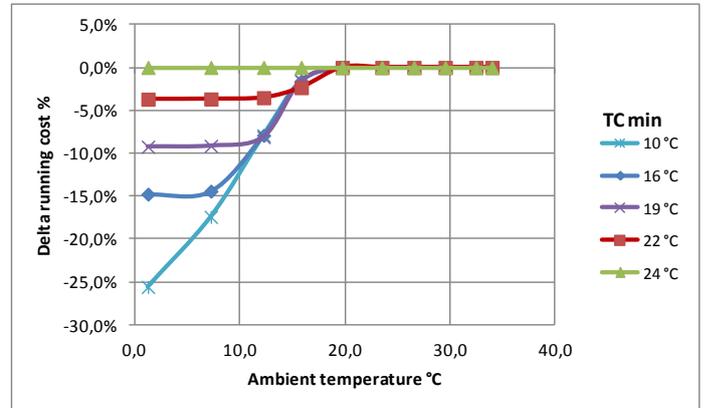


Figura 9

Nelle condizioni esaminate di temperatura di evaporazione -10°C (4,3 bar) e -30°C (2,0 bar) è pratica abbastanza comune accettare - con valvole tradizionali termostatiche - una differenza di pressione (tra quella di condensazione e di evaporazione) pari a circa 8 bar; questo implica mantenere valori minimi di temperatura di condensazione pari rispettivamente a 24°C (12,1 bar) e 19°C (10,6 bar).

Per le valvole elettroniche il differenziale di pressione può essere ridotto fino a 6 bar o meno; di conseguenza, i valori limite minimi di temperatura di condensazione si portano rispettivamente a 19°C (10,6 bar) e 10°C (8,2 bar), utilizzando come fluido refrigerante l'R404A.

Effetto dell'abbassamento del grado di surriscaldamento negli aero-evaporatori

Il secondo modo di risparmiare energia adottando valvole elettroniche è quello della possibilità di ridurre il surriscaldamento in batteria di scambio termico. Questo consente un maggior sfruttamento della superficie dello scambiatore in regime di flusso bifase, in cui il coefficiente di scambio è - in genere - un ordine di grandezza superiore rispetto a quello della singola fase gassosa (surriscaldamento).

In figura 5 si riporta l'andamento della potenza frigorifera specifica, cioè riferita al DT1, in funzione del grado di surriscaldamento nell'aero-evaporatore (DT1= differenza di temperatura tra la cella frigorifera e l'evaporazione).

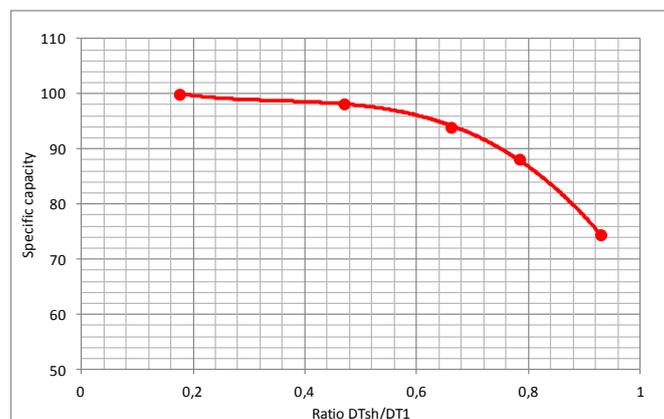


Figura 10

Come si può notare, una riduzione del grado di surriscaldamento induce ad un aumento di potenza nell'evaporatore; in particolare, abbiamo verificato sperimentalmente che utilizzando valvole elettroniche con surriscaldamento di 4°C (difficile da ottenere con valvole meccaniche) rispetto a i 7 °C ottenibile con valvole termostatiche, si è ottenuto un incremento di potenza di circa il 5%.

Ovvero, mantenendo costante la potenza frigorifera, è possibile ridurre il DT1 (es. da 10 a 9.5°C), riducendo i costi di esercizio annui di circa l'1.6%.

Conclusioni

Il consumo di energia da parte degli impianti per refrigerazione e condizionamento è imputato alla produzione di gas serra in misura maggiore dell'emissione diretta di refrigeranti HFC in atmosfera.

In Europa, ad esempio, circa il 14% dell'energia prodotta è assorbita da tali impianti (Fonte: ASERCOM).

Una migliore efficienza energetica rappresenta quindi una delle primarie responsabilità del nostro settore per uno sforzo concreto nel ridurre le emissioni di gas serra.

In questa linea si pongono le apparecchiature Lu-Ve (PLUG&SAVE), in cui a fronte di costi iniziali leggermente superiori, si hanno notevoli risparmi energetici e monetari, tanto da ridurre a pochi mesi i tempi di recupero degli investimenti.

Nelle condizioni esaminate, con Tcond minima più bassa rispetto alle valvole tradizionali, il risparmio economico sui costi di esercizio annui dell'intero ciclo frigorifero, si posiziona attorno ad un valore del 5% (pari a circa 3000 €/anno); in più, aggiungendo l'effetto di un DT di surriscaldamento ridotto, si raggiunge un risparmio annuo di circa 3700€.

L'impiego di sistemi aventi tecnologie "tradizionali", non solo comportano un esborso enormemente maggiore durante il ciclo di vita del prodotto, ma è dannoso dal punto di vista ambientale (maggiore energia consumata e maggiore CO₂ diffusa), aggravando la bilancia commerciale del Paese dai costi di importazione dell'energia.

Evidentemente un acquisto intelligente, oculato e ottimizzato, non privilegia solo il costo di acquisto degli apparecchi, ma considera i costi complessivi del loro ciclo di vita.

Inoltre, l'impiego di prodotti certificati assicura al progettista, all'installatore e all'utilizzatore finale la garanzia della realizzazione di impianti qualificati per l'ottimale conservazione degli alimenti refrigerati.