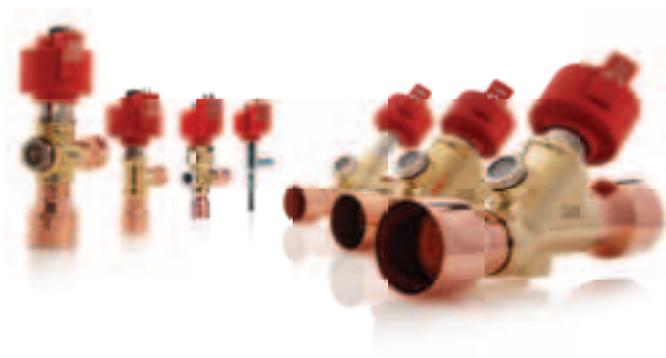


# application note



Le valvole di espansione elettroniche riducono le ingenti perdite energetiche dovute ai transitori nelle macchine frigorifere con regolazione ON/OFF.



## dove

Laboratorio applicazioni HVAC/R CAREL INDUSTRIES  
• unità frigorifera aria-acqua ad R410A

## cosa

**Analisi della fase di avviamento in un'unità frigorifera**  
• valutazione delle perdite energetiche  
• ottimizzazione dell'avviamento

## perché

L'ottimizzazione degli avviamenti delle unità frigorifere è di fondamentale importanza al fine di incrementarne l'efficienza energetica.

## La valvola di espansione elettronica - una soluzione per ridurre le inefficienze energetiche all'avviamento

Sia in ambito residenziale che in ambito commerciale la variabilità della richiesta di freddo obbliga spesso i progettisti ad installare unità frigorifere con potenze superiori alle massime richieste di freddo previste.

Di conseguenza nasce l'esigenza di regolare la potenza frigorifera delle unità.

Tale regolazione può essere effettuata con due modalità:

- tramite compressori a velocità variabile in grado di produrre istante per istante la potenza frigorifera richiesta;
- tramite un classico funzionamento ON/OFF delle unità.

Questa seconda modalità di regolazione, ancora oggi molto diffusa grazie al suo semplice principio di funzionamento, è tuttavia caratterizzata da una serie di inefficienze energetiche agli avviamenti.

Gli effetti di tali inefficienze, seppur spesso sottovalutati, possono essere anche ingenti.

In questo documento viene descritto come, tramite test di laboratorio, si sia stati in grado di quantificare l'entità di tali inefficienze e di dimostrare come l'utilizzo di una valvola di espansione elettronica consenta di ridurre drasticamente gli effetti.

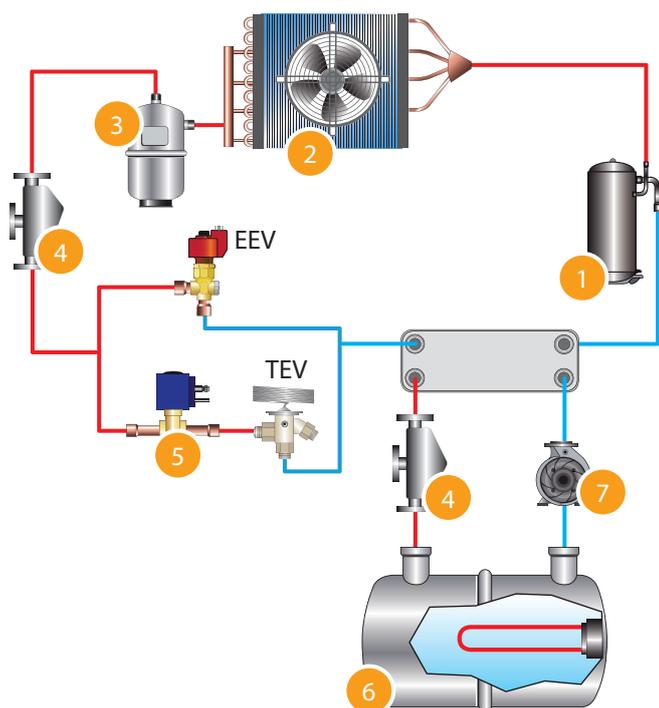
## Test sperimentali

Per analizzare il fenomeno delle perdite energetiche agli avviamenti si è realizzata, all'interno del Laboratorio applicazioni HVAC/R, un'unità frigorifera di potenza nominale 6.8 kW controllata con classica regolazione ON/OFF.

Un sistema di acquisizione dati completo ha consentito di monitorare tutti i parametri termodinamici che caratterizzano il ciclo frigorifero.

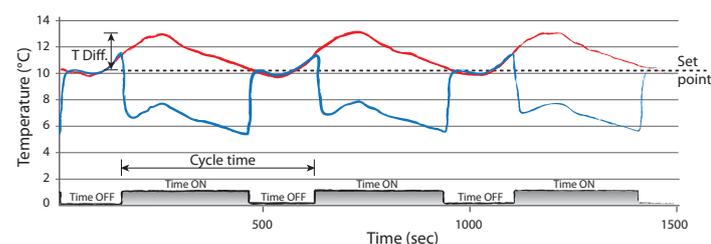
Si sono realizzati molteplici test della durata di un'ora variando il carico frigorifero e impostando l'unità in modo da lavorare alternativamente:

- con valvola di espansione termostatica (TEV);
- con valvola di espansione termostatica con valvola solenoide di intercettazione in serie (TEV\*);
- con valvola di espansione elettronica (EEV).



- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 compressore           | 5 valvola solenoide       |
| 2 condensatore          | 6 accumulo con resistenze |
| 3 ricevitore di liquido | 7 pompa                   |
| 4 misuratore di portata |                           |

### Andamento delle temperature in un ciclo ON/OFF



- stato compressore
- temperatura dell'acqua in ingresso (°C)
- temperatura dell'acqua in uscita (°C)

## Analisi qualitativa delle perdite energetiche all'avviamento

Il funzionamento ciclico di una macchina frigorifera è causato dalla differenza tra la potenza erogata dal compressore e la richiesta istantanea. Questa differenza è dovuta alla variazione del carico nel tempo, ad esempio per fattori orari o stagionali, e al sovradimensionamento della macchina rispetto al carico medio, che come accennato è una pratica di progettazione molto comune.

La cadenza delle accensioni orarie è moderata dall'inerzia termica dell'impianto pertanto, in genere, la frequenza dei cicli on-off è maggiore negli impianti di piccole dimensioni.

Ogni transitorio di fermata e di successivo avviamento del compressore comporta una perdita energetica.

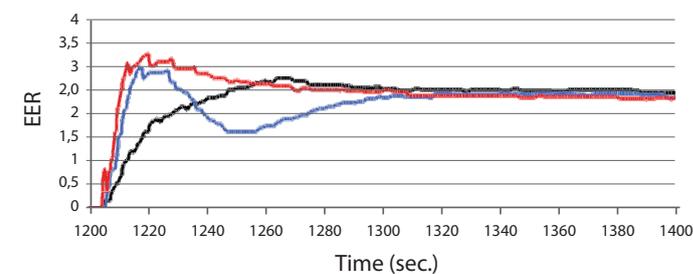
Grazie ai test condotti è stato possibile spiegare e quantificare queste perdite energetiche misurando, nelle diverse condizioni di funzionamento, l'andamento nel tempo dell'EER (Energy Efficiency Ratio), ovvero il rapporto tra la potenza frigorifera erogata e la potenza elettrica assorbita dal compressore, in particolare durante il periodo successivo all'avviamento del compressore.

Le più importanti conclusioni emerse sono due:

- **valori dell'EER negli istanti immediatamente successivi ad ogni avviamento sono bassi in tutti i test effettuati:** questo è dovuto essenzialmente alla fuoriuscita di refrigerante ancora allo stato liquido dall'evaporatore che arrivando al compressore ne riduce l'efficienza (e lo mette in condizioni di rischio). Questo fenomeno è causato dalla migrazione di refrigerante liquido attraverso i componenti della macchina verso l'evaporatore dopo la fermata del compressore, e dalla imperfetta regolazione della valvola di espansione soggetta, durante il transitorio iniziale, a pendolazioni. Poiché tutti questi eventi si ripropongono ad ogni avviamento, il dispendio di energia cresce con la frequenza delle accensioni;
- **valori dell'EER ottenuti nei test con valvola di espansione elettronica sono sempre superiori ai valori ottenuti con valvola di espansione termostatica con o senza valvola solenoide:** questa maggior efficienza energetica è garantita dalla capacità di una EEV di ottimizzare la regolazione del flusso di refrigerante nell'evaporatore, limitando il fenomeno della fuoriuscita di liquido verso il compressore. Inoltre, al pari di una valvola solenoide, la valvola elettronica interrompe il flusso di refrigerante quando il compressore viene spento. Questo evita che durante la fase di spegnimento il refrigerante liquido migri verso il compressore.

Questo significa che una **valvola di espansione elettronica** consente di ridurre drasticamente le perdite energetiche a seguito dei cicli di ON/OFF della macchina frigorifera.

### Efficienze energetiche nella fase di avviamento



- valvola di espansione elettronica
- valvola di espansione termostati con valvola solenoide
- valvola di espansione termostati senza valvola solenoide

## Analisi quantitativa delle perdite energetiche all'avviamento

Passando ad un'analisi quantitativa, è stato misurato l'incremento dell'assorbimento di energia elettrica dovuto alle inefficienze negli istanti successivi all'avviamento rispetto al caso ideale di funzionamento continuo che accade solo quando il carico richiesto dall'impianto coincide con la capacità frigorifera erogata dal compressore.

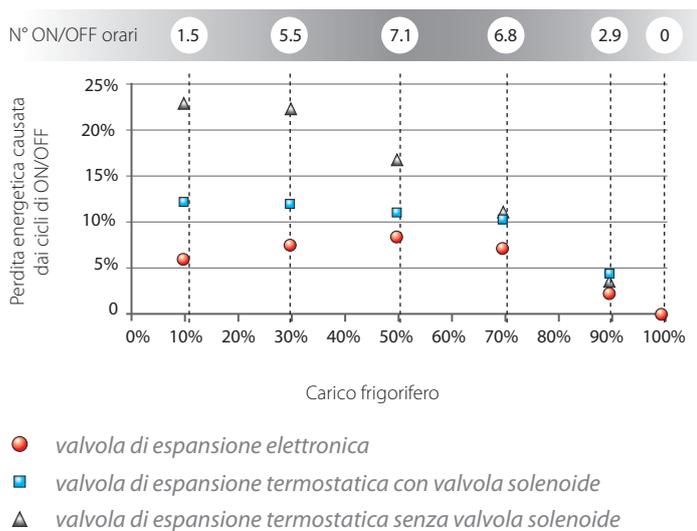
Da questa analisi è emerso che nel caso di funzionamento con valvola termostatica meccanica senza valvola di intercettazione le inefficienze possono comportare significativi aumenti degli assorbimenti elettrici, fino ad un massimo del 23% nel caso più sfavorevole.

L'aggiunta di una valvola a solenoide per l'intercettazione del refrigerante a monte della valvola termostatica meccanica consente di limitare l'incremento di energia elettrica assorbita fino ad un massimo del 13%.

L'uso di una valvola di espansione elettronica consente infine di ridurre ulteriormente le perdite energetiche all'avviamento. Il massimo incremento di assorbimento rispetto al funzionamento ideale continuo è infatti sempre inferiore all'8%.

Le massime differenze tra i tre sistemi si verificano in corrispondenza del minimo carico.

### Perdite energetiche al variare del carico frigorifero



## Analisi economica

Da un punto di vista economico, il confronto è stato effettuato considerando:

- un'unità da 20 kW di capacità frigorifera per applicazione comfort, con un carico frigorifero medio del 50% e in moto per 3000 h/anno;
- un'unità da 10 kW di capacità frigorifera per applicazione industriale, con un carico frigorifero medio del 50% e in moto per 5000 h/anno;

Per entrambe l'EER di riferimento è 3.

Utilizzando i dati riportati sinteticamente nell'analisi quantitativa, è stato calcolato il valore dell'EER medio effettivo che si discosta da quello di riferimento a causa delle perdite energetiche ad ogni avviamento. Sulla base di questo è stato valutato il consumo elettrico annuo delle varie alternative (indicate come in precedenza TEV, TEV\* ed EEV) ed il conseguente costo energetico.

L'analisi economica mette in luce come la soluzione con valvola di espansione elettronica permette un risparmio economico di circa 220€/anno nel caso di utenza comfort rispetto ad una soluzione con sola valvola termostatica.

Se si considera infine che le perdite energetiche all'avviamento sono proporzionali alla potenza frigorifera installata, mentre i costi della componentistica legata all'uso delle valvole di espansione elettroniche cresce in modo molto meno evidente, è immediato intuire che i vantaggi economici di questa soluzione sono tanto maggiori quanto più elevata è la potenza frigorifera dell'unità considerata.

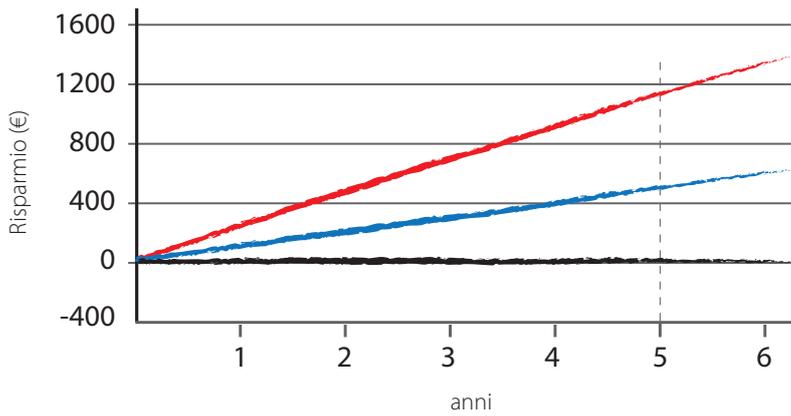
### Analisi economica

descrizione	u.m.	TEV	TEV*	EEV
<b>Utenza per CONDIZIONAMENTO</b>				
Potenza frigorifera nominale	kW	20	20	20
Carico frigorifero medio	kW	10	10	10
EER nominale	adim	3	3	3
Perdite energetiche	%	17	12	7
EER effettivo medio	adim	2,56	2,68	2,80
Potenza media assorbita	kW	3,90	3,73	3,57
Energia assorbita per 3000 h/anno	kWh/anno	11700	11200	10700
Risparmio energetico annuo**	kWh	-	500	1000
Costo energia in Italia (2012)	€/kWh	0,22	0,22	0,22
Risparmio finanziario annuo	€	-	110	220
Risparmio energetico a 5 anni	kWh	-	2500	5000
Risparmio finanziario a 5 anni	€	-	550	1100
<b>Utenza per INDUSTRIA</b>				
Potenza frigorifera nominale	kW	10	10	10
Carico frigorifero medio	kW	5	5	5
EER nominale	adim	3	3	3
Perdite energetiche	%	17	12	7
EER effettivo medio	adim	2,56	2,68	2,80
Potenza media assorbita	kW	1,95	1,86	1,78
Energia assorbita per 5000 h/anno	kWh/anno	9750	9300	8900
Risparmio energetico annuo **	kWh	-	450	850
Costo energia in Italia (2012)	€/kWh	0,22	0,22	0,22
Risparmio finanziario annuo	€	-	99	187
Risparmio energetico a 5 anni	kWh	-	2250	4250
Risparmio finanziario a 5 anni	€	-	495	935

(\*\*) riferito alla soluzione TEV (con valvola di espansione termostatica senza valvola solenoide)



## Risparmio finanziario a 5 anni - utenza per CONDIZIONAMENTO



- valvola di espansione elettronica
- valvola di espansione termostatica con valvola solenoide
- valvola di espansione termostatica senza valvola solenoide

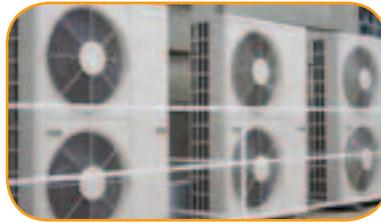
## Campi di applicazione

I risultati di questo studio sono validi per una vasta gamma di applicazioni HVAC/R tra cui:

celle frigorifere



pompe di calore



refrigeratori ad acqua



## Conclusioni

I test effettuati presso i laboratori di CAREL INDUSTRIES SpA hanno confermato che il funzionamento delle unità frigorifere negli istanti immediatamente successivi agli avviamenti è caratterizzato da efficienze ridotte.

Tali inefficienze possono essere drasticamente diminuite tramite l'utilizzo di una valvola di espansione elettronica. Questa soluzione, se confrontata con le alternative che prevedono l'utilizzo di una valvola termostatica, consente di ottenere un evidente risparmio sia da un punto di vista energetico che da un punto di vista economico.

Nello specifico caso considerato, rispetto alla soluzione con valvola di espansione termostatica, le inefficienze sono state ridotte da un massimo del 23% ad un massimo dell'8% e, portando ad esempio un'unità frigorifera di potenza 20 kW, tale riduzione di inefficienza si traduce in un risparmio in 5 anni superiore ai 1000 €.



Biagio Lamanna  
CAREL INDUSTRIES

### Headquarters ITALY

**CAREL INDUSTRIES HQs**  
Via dell'Industria, 11  
35020 Brugine - Padova (Italy)  
Tel. (+39) 0499 716611  
Fax (+39) 0499 716600  
carel@carel.com

### Sales organization

CAREL Asia - [www.carel.com](http://www.carel.com)  
CAREL Australia - [www.carel.com.au](http://www.carel.com.au)  
CAREL China - [www.carel-china.com](http://www.carel-china.com)  
CAREL Deutschland - [www.carel.de](http://www.carel.de)  
CAREL France - [www.carelfrence.fr](http://www.carelfrence.fr)  
CAREL Iberica - [www.carel.es](http://www.carel.es)  
CAREL India - [www.carel.in](http://www.carel.in)

### Affiliates

CAREL HVAC/R Korea - [www.carel.com](http://www.carel.com)  
CAREL Russia - [www.carelrussia.com](http://www.carelrussia.com)  
CAREL South Africa - [www.carelcontrols.co.za](http://www.carelcontrols.co.za)  
CAREL Sud America - [www.carel.com.br](http://www.carel.com.br)  
CAREL U.K. - [www.careluk.co.uk](http://www.careluk.co.uk)  
CAREL U.S.A. - [www.carelusa.com](http://www.carelusa.com)

CAREL Czech & Slovakia - [www.carel-cz.cz](http://www.carel-cz.cz)  
CAREL Korea (for retail market) - [www.carel.co.kr](http://www.carel.co.kr)  
CAREL Ireland - [www.carel.com](http://www.carel.com)  
CAREL Thailand - [www.carel.co.th](http://www.carel.co.th)  
CAREL Turkey - [www.carel.com.tr](http://www.carel.com.tr)