

APPLICAZIONE DI MOTORI ELETTRICI LSPM IN COMPRESSORI SCROLL ERMETICI PER REFRIGERATORI DI LIQUIDO E COMPARAZIONE DELLE PRESTAZIONI CON R410A e R454B

**Pietro Trevisan - BITZER Italia Srl / pietro.trevisan@bitzer.it
Dr. Armin Walz - BITZER Kuehlmaschinenbau GmbH / armin.walz@bitzer.de**

1. Introduzione: l'evoluzione del contesto normativo e la conseguente necessità di aggiornare i prodotti

Negli ultimi anni si è verificato un forte impulso al cambiamento nel settore della refrigerazione e del condizionamento dell'aria in territorio europeo. Un esempio lampante di questo incalzante cambiamento è senza dubbio rappresentato dai sistemi frigoriferi adottati nei supermercati che, anticipando altri settori della nostra industria del freddo, hanno subito nel giro di qualche anno la quasi totale eliminazione del R404A/R507A negli impianti nuovi dopo circa un ventennio di sistematico utilizzo di questi refrigeranti ad alto GWP. La stretta imposta sulle emissioni di gas serra ha innescato un inevitabile e giustificato declino per R404A/R507A in favore di altre soluzioni meno impattanti come i cicli in cascata R134a/CO₂ (alternativamente R513A/CO₂) spalancando allo stesso tempo le porte per un massiccio utilizzo di impianti booster a CO₂ in un gran numero di realizzazioni laddove le condizioni climatiche lo consentissero.

Il principale motore di questo cambiamento è senza dubbio il regolamento F-Gas che, nell'imporre un abbattimento progressivo delle emissioni anno dopo anno, ha di fatto messo un cappio al collo dei refrigeranti tradizionali iniziando a stringere da quelli con più elevato GWP. L'R404A/R507A è solo la prima delle vittime e sarà presto in buona compagnia.

L'R410A è già in evidente difficoltà e dopo l'uscita di scena del R404A/R507A rappresenta il refrigerante correntemente utilizzato con il più elevato GWP (2088). E' assai probabile che nel giro di qualche mese il prezzo di questo refrigerante subisca degli aumenti che ne rendano antieconomico l'utilizzo.

L'altro grande attore nella trasformazione tecnologica di questi e dei prossimi anni è la Direttiva Ecodesign 2016/2281 che obbliga i produttori di apparecchiature a rispettare definiti livelli minimi di efficienza energetica per poter proporre i propri prodotti sul mercato europeo.

Da un punto di vista pratico c'è una sostanziale differenza tra la Direttiva Ecodesign e il Regolamento F-Gas: la prima definisce in modo chiaro quali siano i livelli minimi di efficienza da superare per poter vendere i propri prodotti, mentre la seconda non specifica in alcun modo, salvo qualche raro caso in cui sono stati posti dei divieti, quali siano i refrigeranti da utilizzare e quelli invece da eliminare per le diverse applicazioni frigorifere. In questo modo si è venuta a creare una situazione di incertezza in molti ambiti del nostro settore con conseguente difficoltà nell'individuare una scelta tecnologica che potesse risultare efficace se non sul lungo almeno sul medio periodo.

L'attuale difficoltà delle aziende del nostro settore, in particolare dei produttori di chiller con compressori scroll, sta proprio nell'individuazione di una strategia tecnologica di

medio termine su cui investire il proprio denaro per ottemperare al mutato contesto normativo mantenendo una posizione di corretta competitività commerciale.

2. Refrigeranti: possibili candidati per la sostituzione del R410A a breve termine

Anidride carbonica, ammoniaca, idrocarburi e HFO sono tra le sostanze attualmente disponibili con GWP prossimo a zero. Sembrerebbe spontaneo scegliere già oggi tra questi per risolvere i problemi delle emissioni dirette. Purtroppo gli attuali chiller progettati ed ottimizzati per R410A con compressori scroll non potrebbero funzionare con questi refrigeranti in modo efficiente e competitivo. Sarebbe invece necessario un ingente investimento in R&D per modificare la tecnologia del compressore e del chiller con l'enorme rischio di non essere alla fine competitivi in termini di costo della macchina.

Nell'ipotesi di abbandonare a breve l'R410A nelle applicazioni di chiller scroll e considerando che le soluzioni a GWP quasi nullo (comunque $GWP < 150$) non saranno disponibili su larga scala e competitive entro breve, nei prossimi 8 / 10 anni sarà necessario adottare una tecnologia di transizione molto simile a quella dell'R410A, impiegando un refrigerante con GWP intermedio (in un intorno tra 450 e 700) con rese, ingombri, efficienze e costi non troppo dissimili da quelli della tecnologia attuale. Possiamo valutare le seguenti opzioni tutte appartenenti alla categoria A2L (fluidi leggermente infiammabili):

R32: $GWP=675$; (100% R32); temp glide 0K

R452B: $GWP=676$; (67% R32 / 7% R125 / 26% R1234yf); temp glide 1K

R454B: $GWP=467$; (68.9% R32 / 31.1% R1234yf); temp glide 1.5K

L'R32 compare in tutte e tre le opzioni esaminate anche se in diverse percentuali. Questo refrigerante offre delle buone caratteristiche termodinamiche (pressioni operative, efficienza energetica, coefficienti di scambio termico) ma pone alcuni particolari aspetti: temperatura di scarico decisamente elevata, effetto frigorifero volumetrico abbastanza diverso dal quello del R410A e GWP relativamente elevato. L'adozione di questo refrigerante su larga scala nelle applicazioni con compressori scroll comporterebbe quindi necessariamente una completa riprogettazione del compressore e di alcune altre parti del refrigeratore, in ragione del maggiore effetto frigorifero volumetrico e della elevata temperatura di scarico (soprattutto nelle applicazioni in pompa di calore). Dovendo dunque affrontare un cospicuo investimento in termini di riprogettazione del compressore e del refrigeratore è assolutamente necessario chiedersi quale potrà essere il ciclo di vita di questa soluzione. In altri termini: per quanto tempo il prezzo di mercato di questo refrigerante rimarrà accettabile viste le progressive restrizioni sul GWP determinate dal regolamento F-Gas?

Ora (nel 2019) l'R32 ha un prezzo di mercato competitivo; ma con che velocità aumenterà la sua posizionamento economico nei prossimi 8..10 anni?

L'R454B e l'R452B sono più simili all'R410A (in termini di pressioni operative, effetto frigorifero volumetrico, efficienza e temperatura di scarico) con il vantaggio che gli oneri di riprogettazione del compressore scroll e dell'unità frigorifera possano essere davvero ridotti. L'R452B ha un GWP simile a quello dell'R32 e questo consente di ipotizzare un ciclo di vita relativamente breve per questo fluido alla pari del R32.

L'R454B appare quindi come la soluzione con le maggiori chance sul medio periodo: costi di riprogettazione contenuti con la concreta possibilità di un ciclo di vita relativamente più lungo rispetto a quello delle altre due opzioni, grazie ad un GWP nettamente inferiore.

3. Tecnologia del motore LSPM (Line Start Permanent Magnet)

Il motore LSPM (Line Start Permanent Magnet = Motore a magneti permanenti alimentato da rete) è una tecnologia nota ma non ancora applicata al compressore scroll per applicazioni nei chiller per A/C. Il motore LSPM può essere considerato un ibrido tra un motore asincrono a gabbia di scoiattolo e un motore sincrono a magneti permanenti. Lo statore è del tutto simile a quello di un motore asincrono mentre il rotore contiene sia la gabbia di scoiattolo che gli inserti di magneti permanenti.



Fig. 1: Rotore di un motore LSPM (Line Start Permanent Motor).
Gabbia di scoiattolo abbinata a inserti di magneti permanenti.

Lo sviluppo e la costruzione di questo motore prevedono due fasi: progettazione della gabbia di scoiattolo per consentire l'avviamento quando il motore viene connesso alla rete (tramite un comune contattore) e la progettazione dei magneti permanenti per il funzionamento in condizioni nominali alla velocità di sincronismo.

In questo modo vengono sommati i benefici delle due diverse tecnologie: si ottiene un motore che si avvia in modo semplice, senza la necessità di un avviatore esterno (inverter), come con convenzionali motori a magneti permanenti, e può garantire un'efficienza elettrica più elevata nel funzionamento a regime.

I vantaggi derivanti da questa tecnologia sono molteplici. L'aspetto primario è la riduzione delle perdite elettriche nel rotore infatti quando il motore lavora a velocità di sincronismo nella gabbia di scoiattolo non scorre corrente azzerando completamente le perdite elettriche rotoriche.

Trattandosi di un compressore scroll ermetico il raffreddamento del motore elettrico viene ottenuto a spese del gas in aspirazione. Potendo contare su un motore elettrico più efficiente l'effetto di riscaldamento del gas aspirato nell'attraversare il motore verrà attenuato, con conseguente lieve aumento della densità del gas in aspirazione e di conseguenza della resa frigorifera.

Un altro vantaggio è che il compressore passando dal funzionamento asincrono al funzionamento sincrono aumenta la velocità di rotazione accrescendo proporzionalmente la potenza frigorifera resa dal compressore (circa 3..5% in più di resa a seconda delle condizioni operative e del modello di compressore selezionato).

4. Efficienza energetica delle soluzioni proposte

Per valutare il beneficio delle tecnologie proposte sull'efficienza e sulla resa frigorifera di un chiller sono stati comparati i valori di SEER (EN14825) ottenibili con le diverse esecuzioni:

- Compressore ORBIT std scroll 10hp modello GSD60120VA con R410A (motore AS)
- Compressore ORBIT+ (LSPM) scroll 10hp modello GSU60120VL con R410A
- Compressore ORBIT+ (LSPM) scroll 10hp modello GSU60120VL con R454B

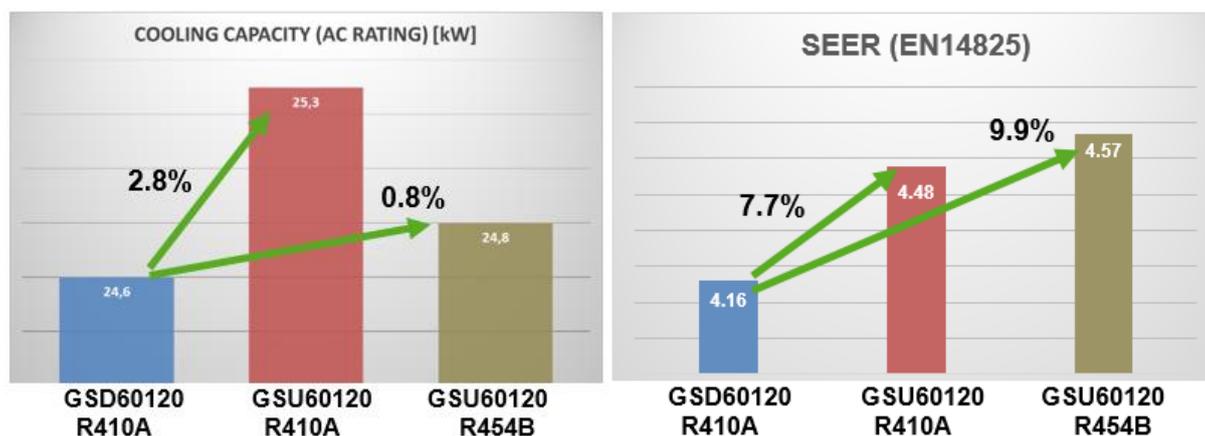


Fig. 2: Variazioni di resa e di efficienza ottenibili con l'applicazione del motore LSPM e passando da R410A a R454B in un chiller condensato ad aria con compressori scroll.

L'applicazione del motore LSPM consente di incrementare leggermente il numero di giri (ORBIT standard con motore asincrono: 2900rpm) per il fatto che la il rotore aumenta la propria velocità fino alla velocità di sincronismo (3000rpm). La potenza frigorifera in questo caso aumenta del 2.8%, mentre il SEER aumenta del 7.7% in questo specifico caso.

Il successivo passaggio da R410A al nuovo refrigerante A2L R454B riduce marginalmente la resa frigorifera ma consente un ulteriore contributo all'aumento dell'efficienza energetica (SEER) del sistema considerato.

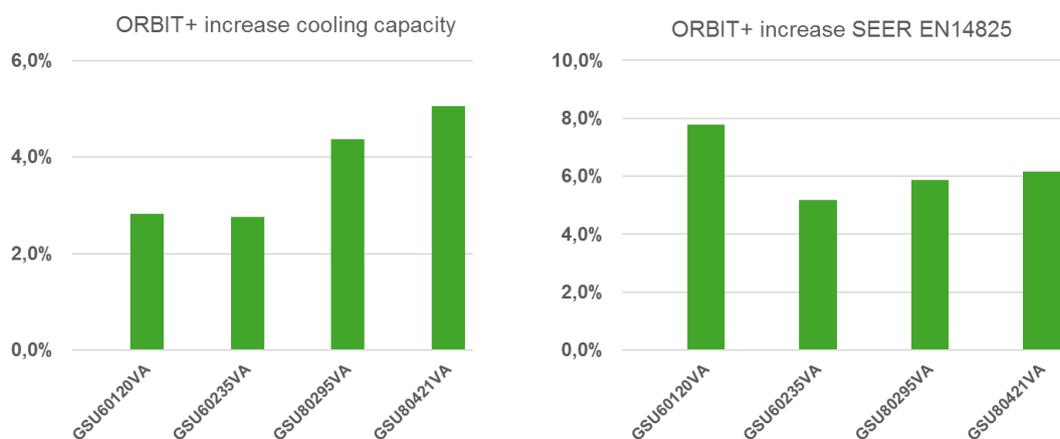


Fig. 3: Aumento della resa frigorifera e del SEER (EN14825) dovuto all'impiego del motore LSPM su diversi modelli di compressori ermetici scroll (R410A).

Dalla figura 3 si può notare che l'applicazione del motore LSPM consente un incremento della resa frigorifera in un intorno del 3-5% a seconda del modello di compressore considerato ed un incremento dell'efficienza (SEER) variabile tra il 5 ed l'8%.

Va a questo punto detto che il motore LSPM rappresenta un ottimo compromesso in termini di semplicità d'uso, affidabilità ed aumento dell'efficienza. Il leggero aumento della capacità frigorifera consente di compensare, almeno in piccola parte, l'incremento di costo dovuto a questa tecnologia.

E' senza dubbio vero che l'utilizzo delle terre rare per la fabbricazione dei magneti comporta un considerevole aumento del costo complessivo del compressore, bisogna però riconoscere anche che questa soluzione (motore LSPM) consente un netto aumento dell'efficienza in tutte le condizioni applicative possibili per il compressore e non solo in una ristretta area di operativa. Altre soluzioni, di impatto economico più contenuto, consentono invece di migliorare l'efficienza solo nelle condizioni previste dalla norma per la compilazione del SEER ma non assicurano un corrispondente risparmio energetico in altre situazioni operative.

5. Ottimizzazione dei costi

I tradizionali criteri di equalizzazione del livello d'olio nella coppa di compressori scroll collegati in parallelo (tandem o trio) si basano sul principio dei vasi comunicanti. Questa soluzione obbliga il costruttore dell'insieme ad una ricerca sistematica della simmetria geometrica e fluidodinamica nelle linee frigorifere di aspirazione e mandata per pareggiare le perdite di carico ed ottenere omogeneità della pressione nelle coppe dell'olio e creare le condizioni idealmente corrette per la validità del principio dei vasi comunicanti.

Purtroppo questa attività (omogeneizzazione delle perdite di carico) apparentemente banale è in realtà particolarmente difficile se si considerano le usuali tolleranze produttive per le tubazioni e per gli stessi compressori. Chi ha pratica di chiller multiscroll potrà confermarci che spesso il livello d'olio visibile nelle spie dei compressori è tutt'altro che omogeneo.

Per risolvere questo problema sono disponibili soluzioni innovative (piping BAHT – Bitzer Advantage Header Technology) che, rinunciando all'impiego del principio dei vasi comunicanti e introducendo criteri pratici ma di semplice attuazione, consentono di mettere in parallelo compressori scroll di diversa capacità equalizzando l'olio tra i compressori in modo affidabile.

Con questa premessa diventa estremamente agevole combinare in parallelo compressori di diversa capacità frigorifera oppure con diversi motori elettrici.

E' dunque possibile combinare in parallelo, per ora in tandem ma in futuro anche in trio, compressori con motore tradizionale asincrono e compressori con motore sincrono LSPM. Questa opportunità offre un ampio grado di libertà nello scegliere i compressori da mettere in parallelo in modo da massimizzare l'efficienza (SEER) dell'unità.

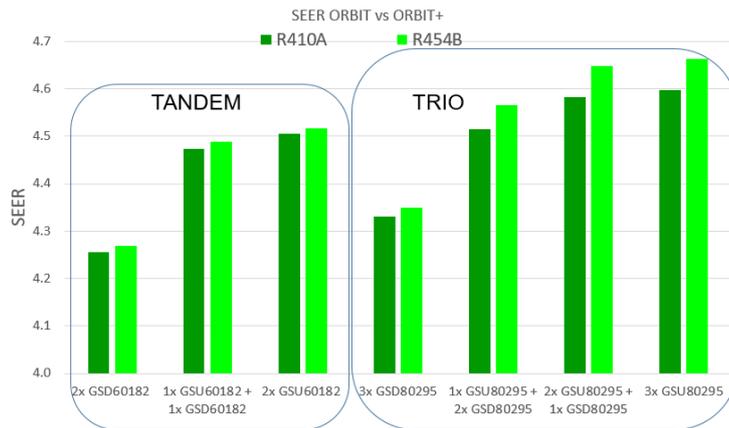


Fig. 4: Aumento del SEER (EN14825) grazie alla combinazione in parallelo di compressori con motore tradizionale asincrono e compressori con motore LSPM

La figura 4 evidenzia che il massimo del guadagno di efficienza è evidentemente ottenibile sostituendo tutti i compressori con motore tradizionale con altrettanti con motore LSPM, evidentemente questa è anche la soluzione più costosa. Un ottimale compromesso è quello di sostituire solo una parte dei compressori da asincroni a LSPM e modificare la logica di funzionamento dell'unità utilizzando quanto più possibile i compressori più efficienti. Il guadagno di efficienza risultante è solo di poco inferiore a quello massimo ottenibile sostituendo tutti i compressori mentre l'aumento di costo è in questo modo significativamente attenuato. In un chiller multiscroll è in questo modo possibile scegliere in modo flessibile il mix tra compressori asincroni e compressori LSPM, anche di taglie diverse, a seconda dei target di efficienza che si vogliono ottenere e dell'applicazione che si considera.

6. Conclusioni

L'estremo grado di complessità determinato dalla continua evoluzione del quadro normativo mette a dura prova il nostro settore industriale. Le tecnologie utilizzate vanno continuamente aggiornate compiendo scelte di strategia tecnica rese spesso rischiose dalla fortissima volatilità del prezzo dei refrigeranti sul mercato europeo.

In questo contesto dinamico e confuso solo in rare situazioni applicative è possibile passare direttamente ai refrigeranti naturali con GWP quasi nullo (NH₃ per la refrigerazione industriale, CO₂ per la refrigerazione commerciale). In altri settori, per esempio nel condizionamento dell'aria oppure nel raffreddamento di processo, tale passaggio diretto ai fluidi naturali in questo momento potrebbe rappresentare il classico 'passo più lungo della gamba'.

In questo lavoro è stata proposta una strategia tecnica, applicabile ai sistemi scroll commerciali, che consente di aumentare l'efficienza complessiva del sistema in modo considerevole utilizzando compressori scroll con motore elettrico innovativo di tipo LSPM e introducendo un refrigerante A2L (R454B) a ridotto GWP dotato di caratteristiche molto simili all'R410A. E' stato infine proposto un metodo per minimizzare gli extra costi dovuti all'utilizzo della nuova tecnologia LSPM ottenendo comunque significativi aumenti di efficienza per il sistema.

Riferimenti bibliografici:

- BITZER catalogue SP-134-1 HERMETIC SCROLL COMPRESSORS
- BITZER Software v6.10.0 rev2169
- Lucia Frosini - Università di Pavia: Le macchine a riluttanza variabile e il motore a magneti permanenti alimentato da rete.
- Simone Cappelletti – Prevenzione incendi; Legislazione Tecnica 5ª edizione.