



Cambiamenti climatici: i ghiacciai si ritraggono, l'acqua diminuisce, i raggi solari intrappolati aumentano l'effetto serra



RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI GRAZIE ALL'APPLICAZIONE DI UNA NUOVA GENERAZIONE DI COMPRESSORI CO₂

**P. TREVISAN
BITZER
KUEHLMASCHINENBAU GMBH**

RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI GRAZIE ALL'APPLICAZIONE DI UNA NUOVA GENERAZIONE DI COMPRESSORI CO₂

Oliver Javerschek, Julian Pfaffl, Julian Karbiner
BITZER Kuehlmaschinenbau GmbH, Peter-Schaufler-Strasse 3,
72108 Rottenburg-Ergenzingen, Germany
+49.(0)7031.932.244, oliver.javerschek@bitzer.de
+49.(0)7031.9324369, julian.pfaffl@bitzer.de
+49.(0)7031.9324027, julian.karbiner@bitzer.de

Astratto

Lo sviluppo di sistemi transcritici a CO₂ nella refrigerazione commerciale può essere considerato in una fase di transizione da tecnologia innovativa a tecnologia affermata. Tuttavia la propensione all'innovazione è ancora marcata e fortemente influenzata da richieste di evoluzione sempre più insistenti da parte del mercato: ulteriore miglioramento dell'efficienza energetica annua, riduzione della complessità del sistema e una riduzione del costo di gestione. Una importante soluzione per la refrigerazione commerciale è l'applicazione di una nuova generazione di compressori CO₂ con efficienza energetica migliorata in un cosiddetto sistema di riferimento. Le caratteristiche di questa gamma di compressori ad alta efficienza, che si chiama ECOLINE +, sono spiegate in questo articolo. La norma europea EN13215 è considerata come il metodo standard per la valutazione delle efficienze energetiche annuali. Un metodo più complesso e più impegnativo per calcolare l'efficienza energetica annuale è considerare l'andamento climatico, i profili di carico specifici, la configurazione del sistema, i tempi operativi e le risultanti condizioni operative dei compressori utilizzati. Questo lavoro fornisce uno studio analitico dei diversi metodi per calcolare l'efficienza energetica annuale per la nuova generazione di compressori comparandoli con la gamma standard e discute i risultati del confronto.

1. Introduzione

Con l'introduzione del programma "Klimaschutz 2020" nel dicembre 2014, il governo federale tedesco ha definito ambiziosi obiettivi per la riduzione dei gas serra. Con riferimento al livello del 1990, le emissioni dovranno essere ridotte almeno del 40 % entro l'anno 2020 e addirittura del 55 % un decennio dopo. Le riduzioni considerano tutti i settori, dalle applicazioni connesse all'energia a quelle non connesse all'energia, come agricoltura e rifiuti. Un settore connesso all'energia è il settore della refrigerazione e del condizionamento dell'aria. La primaria importanza dell'efficienza energetica è evidenziata dal fatto che l'ammontare delle emissioni indirette equivale a 46 Mt di CO₂ equivalente per l'anno 2015 in Germania (Commissione Europea, 2016). In considerazione di questo, 4.9 % delle totali emissioni di gas serra è stato prodotto dal funzionamento di impianti di questo settore industriale. In relazione alle emissioni dirette, il bilancio ha evidenziato che sono state emesse 3 Mt di CO₂ eq. che rappresentano 0.3 % del totale delle emissioni di gas serra. Come conseguenza il governo federale tedesco nel dicembre 2016 ha introdotto delle nuove linee guida per l'industria della refrigerazione e del condizionamento dell'aria per supportare il raggiungimento degli obiettivi menzionati (Bundesanzeiger, 2016). Le nuove linee guida considerano tre misure: l'accrescimento dell'efficienza energetica, la riduzione dei carichi termici di raffreddamento in generale ed un ulteriore taglio dell'applicazione di refrigeranti HFC. Le linee guida sono collegate al regolamento F-Gas 517/2014. Si è stimato che le misure riducano ulteriormente le emissioni di F-Gas di

0.6 Mt di CO₂ eq. entro il 2020. In ogni caso indipendentemente dai regolamenti proposti in Germania ed in altri paesi nel mondo la situazione idealmente più favorevole è quella di sistemi con la più alta efficienza energetica annuale basati su di un refrigerante naturale, applicati in modo semplice e con costi limitati. Tutti questi requisiti sono in relazione con la prossima generazione di prodotti energeticamente efficienti che combinano il refrigerante naturale anidride carbonica con un GWP pari a 1 e la più alta efficienza per ottenere il minor CO₂ footprint.

2. Una nuova generazione di compressori efficienti per CO₂

2.1 Dal primo prototipo fino a ECOLINE+

BITZER intraprese lo sviluppo di compressori per CO₂ già negli anni tra il 1995 ed il 1998, quando fu progettato il primo prototipo di compressore per applicazioni CO₂ subcritiche, che fu fornito principalmente ad istituti di ricerca come il DTI in Danimarca. Anche i primi clienti OEM iniziarono a concentrarsi sull'applicazione di CO₂ nella bassa temperatura (LT). Nell'anno 2000 fu installato il primo sistema commerciale in cascata HFC/CO₂ dall'azienda Linde nella città di Bettembourg in Lussemburgo. Correva l'anno 2002 quando si verificava un altro evento di spicco: l'apertura del primo ristorante McDonald's HFC free nella città di Vejle, Danimarca. Il sistema era stato progettato ed ingegnerizzato dal DTI e si basava su un sistema propano/CO₂ in cascata, refrigeratore a propano, circolazione a termosifone di CO₂ nello stadio TN ed espansione secca per lo stadio BT. Fu necessaria la realizzazione di uno speciale compressore CO₂, per soddisfare i ridotti carichi termici. Successivamente nel 2003 BITZER intraprese lo sviluppo di compressori per applicazioni transcritiche. Nel 2004, Linde mise in servizio il primo sistema completamente a CO₂ per applicazioni transcritiche a Wettingen, Svizzera. Il sistema è basato sul cosiddetto flash gas bypass (FGB) che fu di aiuto alla tecnologia CO₂ consentendone una graduale diffusione sul mercato. Da allora BITZER ha sviluppato tre differenti gamme di compressori per tutte le diverse soluzioni impiantistiche a CO₂ ed ha venduto 75.000 compressori a CO₂ alla fine del 2016. I fondamenti della gamma ECOLINE+, erano stati posti già nel 2010 con i primi test sul campo con i motori line start permanent magnet (LSPM). Questa speciale tecnologia di motore è il requisito chiave dei nuovi compressori energeticamente efficienti, che possono essere considerati la quarta generazione di compressori CO₂ made by BITZER.

2.2 Motori LSPM

Questa tecnologia di motore è una soluzione ibrida e comprende uno statore asincrono ed un rotore a gabbia di scoiattolo con dei magneti permanenti aggiuntivi. Questa tecnologia combina la robustezza di un motore asincrono (AS) e la maggiore efficienza di un motore a magneti permanenti. All'avviamento del compressore, il rotore accelera e si sincronizza con la frequenza operativa dello statore. Per questo il rotore opera in velocità sincrona con il vantaggio di azzerare le perdite di magnetizzazione del rotore. Tutto questo ha il beneficio di una maggiore efficienza del motore. La figura 1 mostra una comparazione di efficienze di motore elettrico in dipendenza dalla potenza relativa erogata di un motore LSPM ed un motore AS. Oltre a questo la tecnologia di motore applicata è estremamente flessibile nella sua applicazione, il motore infatti può essere collegato direttamente all'alimentazione elettrica oppure lo si può abbinare ad un azionamento a velocità variabile. Il beneficio ottenuto in un compressore semiermetico non è circoscritto all'incremento dell'efficienza offerto dal motore, bensì si ottiene anche una maggiore portata di massa. Per il fatto che il rotore di un motore LSPM lavora con velocità di rotazione sincrona, la trasmissione del compressore può elaborare una portata di massa

superiore rispetto ad un motore asincrono, per il quale il numero di giri è fortemente dipendente dalla coppia che viene richiesta. In aggiunta la portata di massa è maggiore anche per il minore trasferimento di calore nel gas di aspirazione per perdite elettriche, consentendo una densità maggiore per il refrigerante in aspirazione, prima che questo giunga nella camera aspirazione della testata del compressore.

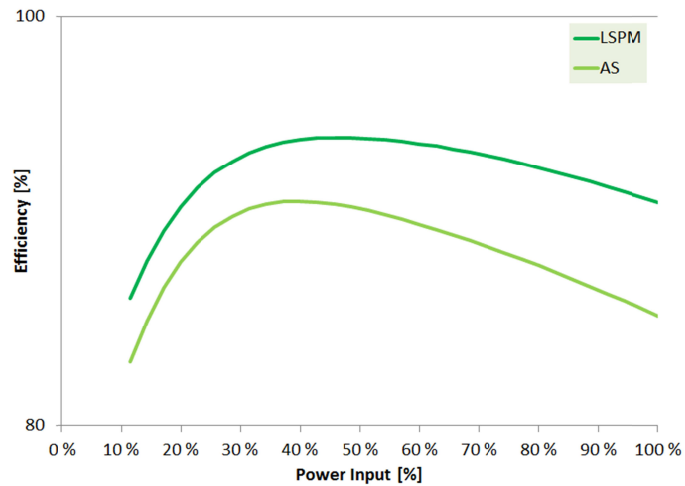


Figura 1: Comparazione delle efficienze di motori elettrici

In considerazione di quanto menzionato, può essere considerato un significativo incremento del COP. Sicuramente l'aumento del COP dipende dalla taglia del motore e viene mostrato in figura 2 per diversi rapporti di pressione in condizioni di aspirazione costanti. Il miglioramento medio di performance è dell'ordine del 6 % nell'ipotesi di alimentazione elettrica diretta. Questo viene documentato in figura 2, dove viene mostrato l'aumento relativo del COP per uno stesso modello di compressore, lavorando in condizioni di aspirazione costanti, con due diversi motori LSPM e AS.

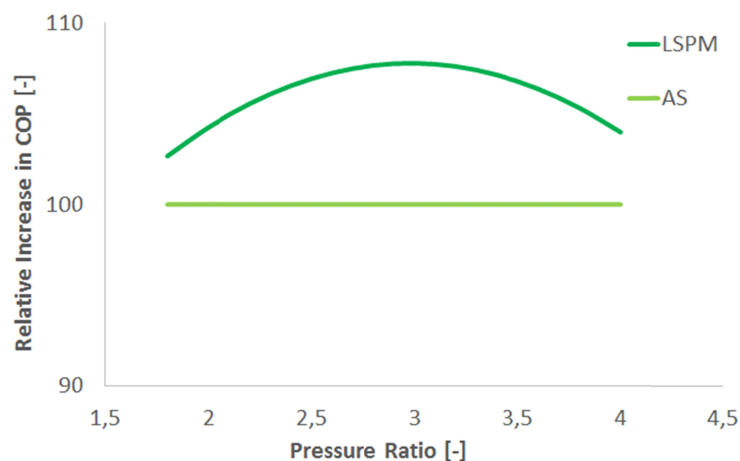


Figura 2: Aumento relativo del COP in dipendenza dalla rapporto di pressione

2.3 Caratteristiche aggiuntive

Le caratteristiche aggiuntive della gamma di compressori ECOLINE+ non sono l'oggetto di questo lavoro ma vale comunque la pena di farne menzione. La gamma di compressori offre come opzione un sistema di parzializzazione meccanica: il cosiddetto sistema CRII che è appositamente progettato per una elevata frequenza di azionamento. Questo consente un adattamento della capacità quasi-stepless al carico frigorifero ed una

reazione rapida ai cambiamenti del sistema. Questo tipo di controllo capacità rappresenta una alternativa all'applicazione dell'inverter di frequenza, offre una buona qualità del controllo combinata con una applicazione semplice e flessibile. Questa novità mondiale per compressori per applicazioni transcritiche a CO₂ viene gestita tramite il modulo IQ CM-RC-01. Il modulo può gestire anche altre funzioni integrate del compressore come la gestione del ritorno dell'olio, attivazione della resistenza olio oppure il monitoraggio delle condizioni operative del compressore e dei limiti di impiego.

3. Valutazione dell'efficienza energetica

Data la crescente importanza dell'efficienza nel settore della refrigerazione e del condizionamento dell'aria, la valutazione dell'efficienza energetica ha acquisito un ruolo rilevante. Un appropriato studio del bilancio energetico basato su accurate e continue misure condotte in condizioni operative realistiche rappresenta il metodo più all'avanguardia. In preparazione di una installazione reale diventa fondamentale valutare il consumo energetico e comparare l'efficienza energetica di diverse soluzioni. La comune valutazione dell'efficienza energetica è il rapporto tra la potenza frigorifera e la potenza assorbita. Per lo più questo viene mostrato nel coefficient of performance (COP) oppure energy efficiency ratio (EER). Considerando che il carico frigorifero non è costante nella maggior parte delle applicazioni in ragione di variazioni nel funzionamento nel giorno e nella notte il rapporto tra l'energia utilizzata e l'energia assorbita su base annua o stagionale è un dato più significativo e interessante. Nel seguito l'efficienza energetica viene valutata sulla base del seasonal energy performance ratio (SEPR) secondo EN13215 e la conseguentemente definita efficienza energetica annua.

3.1 Calcolo stagionale in refrigerazione secondo la EN13215

Con la EN13215:2016, entrata in vigore nel 2016, è stato standardizzato per la prima volta un metodo di calcolo per unità di refrigerazione che consideri l'efficienza a carico parziale e la temperatura ambiente. La precedente norma europea 13215:2000 descriveva come pubblicare dati prestazionali di unità condensatrici per refrigerazione a pieno carico. L'ultima revisione descrive come pubblicare dati prestazionali a carico parziale e come calcolare il SEPR (seasonal efficiency performance ratio). La pubblicazione dei dati a carico parziale e del SEPR è richiesta dalla Commission Regulation (EU) No 2015/1095 (Ecodesign). Il metodo di calcolo per le performance stagionali descritto nella EN13215 è basato su uno schema di calcolo che era stato sviluppato per la EN14825 nel 2011. Per questo tipo di valutazione è necessario un profilo di temperatura, un profilo di carico o di richiesta frigorifera unitamente ad una regola di calcolo. Nella EN13215:2016 è stato scelto il profilo di temperatura di Strasburgo del 2009 sulla base dei dati meteo dell'ASHRAE. Strasburgo è stata scelta perché si ritiene possa rappresentare il clima medio europeo. Il profilo di temperatura è costituito da bins (contenitori) dell'ampiezza di 1 grado centigrado, nell'intervallo da -19°C a +38°C. Ad ogni bin di temperatura viene assegnato un certo numero di ore dell'anno. Il numero di ore in totale è 8760 che rappresenta esattamente un anno. Sono poi stati definiti dei profili di carico per applicazioni a media e a bassa temperatura. Funzionamento a pieno carico 100% viene assegnato al bin di 32°C di temperatura ambiente. L'80% del carico per bassa temperatura e il 60% del carico per media temperatura vengono assegnati al bin di 5°C di temperatura ambiente. Tra questi bins il carico viene interpolato linearmente. Il profilo di carico è dunque semplificato e viene supposto prendere il comportamento di un sistema di refrigerazione medio e non quello di una specifica applicazione. Il metodo di calcolo è basato su 4 punti operativi, che sono mostrati in Tabella 1.

Tabella 2: Calcolo del SEPR – punti operativi

	Load [%]	Ambient temp. [°C]	Evaporating temp. [°C]
A	100	32	-10
B	90	25	-10
C	75	15	-10
D	60	5	-10

Per i bins o temperature ambiente non specificati in Tabella 2 efficienza e assorbimento di potenza sono interpolati tra i bins . Temperature superiori a 32°C o inferiori a 5°C ambiente sono trattate come 32°C o 5°C rispettivamente. Se una unità condensatrice non è in grado di realizzare la percentuale di carico richiesta viene utilizzato un fattore di degradazione di 0,25 per ridurre il COP ed aumentare il consumo di potenza nel calcolo. Se una unità non è in grado di raggiungere la capacità dello specifico carico parziale richiesto si assume che l'unità vada in modalità on/off e quindi utilizzi più energia per ripristinare corrispondentemente le pressioni nel sistema. Il fattore di degradazione è calcolato secondo l'Equazione 1.

Equazione 1: Fattore di degradazione

$$COP_{degraded} = COP * (1 - 0,25 * \left(1 - \frac{Q_{0_{required}}}{Q_{0_{actual}}}\right))$$

Per calcolare il SEPR, si divide la sommatoria delle potenze frigorifere di tutti i bins per la sommatoria della potenza assorbita. Sebbene questo metodo non tenga in considerazione la specifica applicazione, offre un criterio ragionevole per comparare diversi sistemi di refrigerazione, diversi fluidi refrigeranti oppure diversi metodi per la regolazione della capacità.

3.2 Efficienza energetica annuale

L'approccio per determinare in modo analitico l'efficienza energetica annuale è stato derivato dalla modalità di calcolo del SEER (seasonal energy efficiency ratio) secondo la norma EN14825 ed è stato applicato in precedenti pubblicazioni (Javerschek e Reichle, 2013 e 2016). Basato su bins di temperatura con ampiezza di 2.5 K, il rapporto tra l'energia assorbita e l'energia utilizzata è calcolato su base annua. Analogamente al calcolo standardizzato, questo approccio applica un fattore di degradazione nel caso in cui la richiesta frigorifera a carico parziale non possa essere raggiunta con la regolazione di capacità. Il fattore è calcolato secondo l'equazione 1. I profili di temperatura sono stati generati con l'applicazione del software Weather Data Viewer 4.0 di ASHRAE, Inc. (2009). I profili climatici considerati tengono conto della durata di ogni bin di temperatura in dipendenza dell'orario del giorno. Oltre a questo il metodo applicato considera la distinzione tra la richiesta frigorifera in condizioni di apertura o di chiusura del negozio. Viene considerato che i negozi siano aperti dalle 8.00 del mattino fino alle 20.00 della sera. Il profilo applicato è basato su dati medi nella refrigerazione commerciale e non ha validità generale. Come evidenziato in Tabella 2, il carico % delle utenze viene definito come funzione della temperatura ambiente.

Tabella 2: Profilo di carico applicato per il calcolo nei capitoli 4.3 e 4.4

t ambient [°C]	< 0	0	5	10	15	20	25	30	>30
MT load "shop open [%]	65	65	65	65	72	83	93	100	100
MT load "shop closed [%]	30	30	30	30	32	43	53	60	60

4. Calcolo del seasonal energy performance ratio e dell'efficienza energetica annua

4.1 Introduzione

Questo capitolo tratta il potenziale aumento dell'efficienza applicando la serie di compressori ECOLINE+ rispetto alla serie di compressori standard. Vengono applicati due diversi metodi per determinare i miglioramenti, il calcolo standardizzato del SEPR secondo EN13215 e il metodo analitico menzionato nel capitolo 3.2. Tutti i calcoli seguenti sono basati su un modello semplificato per determinare la differenza di temperatura tra l'ambiente e l'uscita del gas cooler e la condensazione rispettivamente. Dalla massima temperatura ambiente fino a 30 °C viene considerata una differenza di temperatura di 2 K. Tra 30°C e 20°C viene ipotizzato un aumento proporzionale della differenza di temperatura. La differenza di temperatura raggiunge 8 K per una temperatura ambiente di 20 °C e viene mantenuta poi costante fino a 0 °C di temperatura ambiente. Con una temperatura ambiente di 0 °C viene considerato che i compressori applicati operino con la minima pressione di scarico realizzabile per i compressori a -10 °C di temperatura di evaporazione. Infine per calcolare la pressione di scarico ottimale è stato applicato l'algoritmo del Dr. Vollmer (1996) nella condizione di raffreddamento del gas supercritico.

4.2 SEPR secondo la EN13215

I calcoli sono stati eseguiti per una unità con singolo compressore dotato di controllo di capacità con una capacità nominale di 55 kW riferita ad una temperatura di evaporazione di -10 °C ed una temperatura ambiente di 32 °C. Oltre a questo l'unità è stata considerata essere dotata di regolazione capacità a mezzo di velocità di rotazione variabile (variable speed drive - VSD). Per la corretta determinazione del SEPR secondo la norma è stata considerata una definita condizione di gas di aspirazione con 10 K di surriscaldamento. Il consumo energetico annuale ed il SEPR sono stati valutati per tre diverse condizioni climatiche. Il modello di compressore preso in considerazione per queste analisi è stato il 4DTC-25K con motore asincrono e il 4DTC-25LK con un motore del tipo LSPM (line start permanent magnet). Viene evidenziato in Figura 3 che i calcoli sono stati condotti per tre diversi climi. Il diagramma indica il consumo energetico assoluto dei compressori sull'asse primario delle ordinate. È un risultato scontato che una considerevole quota di energia possa essere risparmiata su base annua nell'applicare un'avanzata tecnologia di motore. Dalla sinistra alla destra: Per clima moderato, clima freddo e clima caldo il risparmio energetico annua ammonta a 8976, 8084 e 11615 kWh/a rispettivamente. Oltre a questo l'asse secondario delle ordinate evidenzia i valori di SEPR risultanti. Il miglioramento corrisponde mediamente al 13 % (nell'ipotesi di variable speed drive - VSD).

4.3 Calcolo analitico dettagliato dell'efficienza annua

In uno step successivo i calcoli sono stati condotti secondo il metodo descritto nel capitolo 3.2. La differenza di maggior rilievo è che il profilo di carico distingue tra le situazioni "negoziato aperto e negozio chiuso" rispetto a quanto mostrato in Figura 3. A prescindere da questo, le condizioni al contorno come indicato nel capitolo 4.2 sono mantenute costanti. Il risultato mostra un trend di correlazione dei miglioramenti relativi dei valori investigati. In

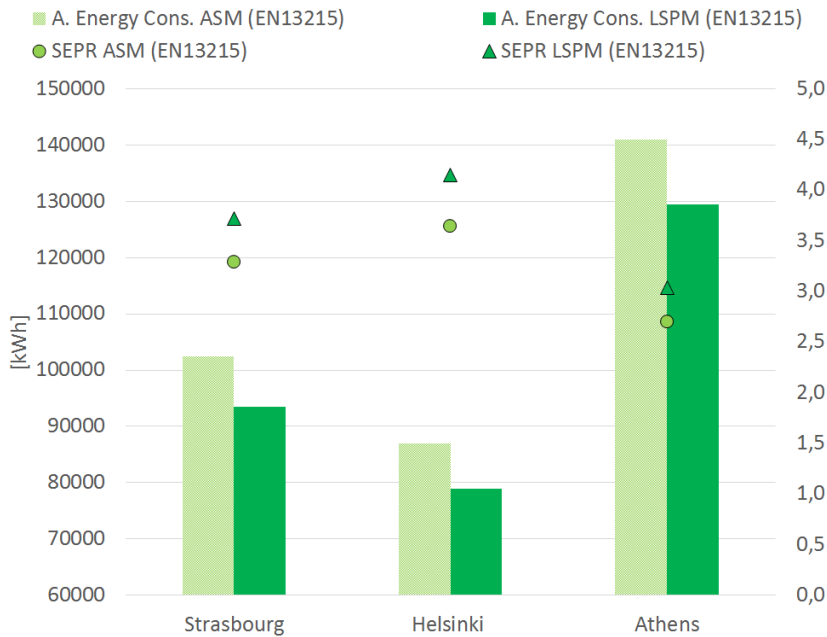
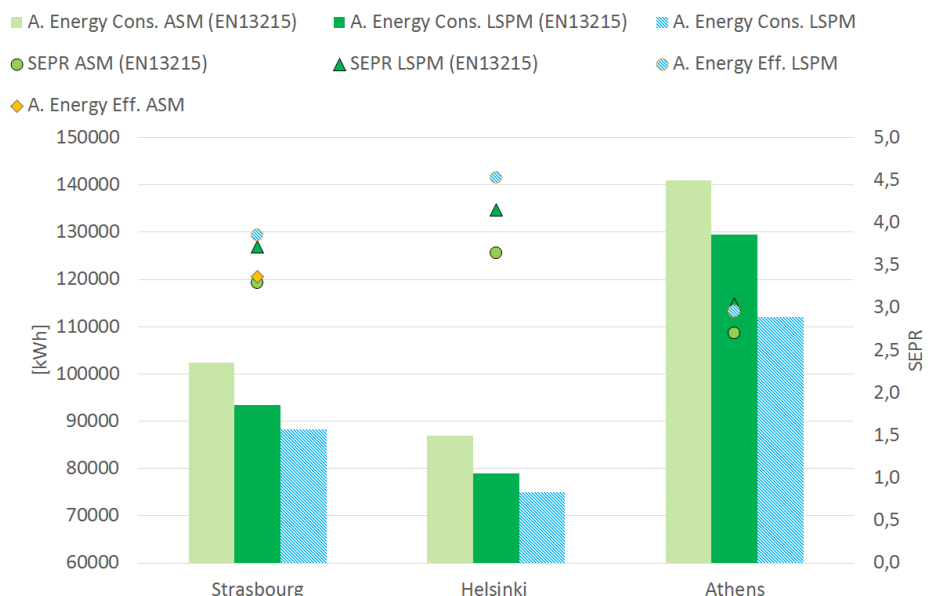


Figura 3: Risultati dei calcoli secondo EN13215 per tre differenti zone climatiche

ogni caso le deviazioni dei valori assoluti sono significative. Una comparazione dei due metodi mostra che i differenti profili di carico hanno una sostanziale influenza sui risultati di efficienza energetica annuale e di consumo energetico. In base ai profili di carico differenziati e alle ore di funzionamento del sistema mentre il negozio è chiuso, il consumo energetico annuo è ridotto di 5298 kWh/a a Strasburgo, 3942 kWh/a in un clima freddo come ad

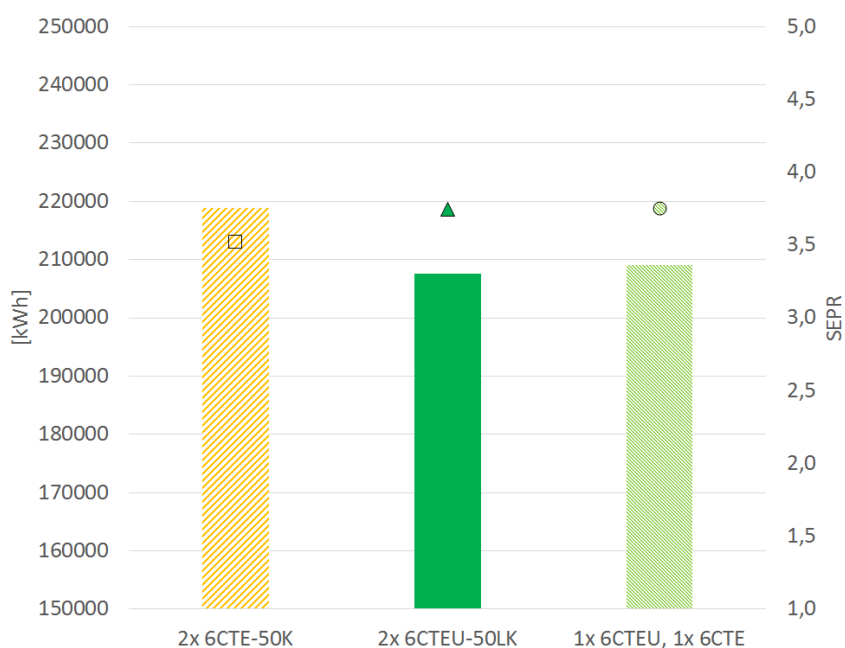
Helsinki e addirittura di 17444 kWh/a ad Atene. Questo indica che un profilo di carico differenziato offre vantaggi per il calcolo del consumo energetico annuale. Il risultato mostrato in Figura 4 porta l'attenzione sul fatto che l'applicazione di un profilo di carico medio per zone climatiche significativamente diverse porta a deviazioni in una comparazione con il metodo secondo la EN13215. Le deviazioni tra il SEPR e i valori per l'efficienza energetica annuale corrispondono a 3,7 % a Strasburgo, 9,2 % ad Helsinki e -2,7 % in un clima caldo come ad Atene. Per valutare l'influenza di una configurazione impiantistica più realistica i calcoli sono stati condotti anche per un'unità, che applica il flash gas bypass, includendo un ricevitore a media pressione ed uno scambiatore interno (IHX) tra uscita dal gas cooler ed il flash gas. I risultati mostrano che le deviazioni confrontate con il sistema semplificato con surriscaldamento in aspirazione definito e costante possono essere trascurate.

Figura 4: Risultati della comparazione tra i due differenti metodi di calcolo.



4.4 Calcolo analitico dettagliato per un sistema con compressori in parallelo

Per valutare il potenziale risparmio energetico in un sistema con compressori in parallelo sono stati eseguiti calcoli dettagliati del consumo energetico annuo e dell'efficienza energetica annua. Per questa attività è stato valutato il caso di un sistema in parallelo con due soli compressori per il quale è ovvio che il tempo di funzionamento del secondo compressore è relativamente ridotto rispetto a quello del compressore principale dotato di velocità variabile (VSD). Condizioni al contorno: unità con due compressori, compressore principale con VSD, capacità nominale riferita ad una temperatura di evaporazione di $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ed una temperatura ambiente di $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, sistema con FGB e con IHX, condizioni di aspirazione variabili e dipendenti dalle condizioni di carico e dalle condizioni ambiente. Come già menzionato nel capitolo 2.2, l'applicazione di un motore LSPM consente anche un vantaggio in termini di maggiore portata di massa e di conseguenza una maggiore resa frigorifera. In condizioni nominali, l'unità ha una capacità di 198 kW per il caso che ambedue i compressori siano dotati di un motore standard. La resa aumenta a 212 kW se entrambi i compressori sono dotati di motore LSPM. Per questa soluzione impiantistica sono stati valutati i consumi energetici annui (Figura 5). I calcoli sono stati eseguiti solamente per Strasburgo applicando lo schema di calcolo introdotto nel capitolo 3.2. Sono state considerate tre opzioni: compressore principale con VSD e compressore a velocità fissa entrambi con motore AS (asincrono), compressore principale con VSD e compressore a velocità fissa entrambi con motori LSPM ed infine compressore principale con VSD dotato di motore LSPM e compressore a velocità fissa con motore AS. I risultati mostrano che il consumo energetico annuo di questa unità è significativamente ridotto da 218823 kWh/a a 207549 kWh/a applicando due motori LSPM in alternativa ai motori tradizionali AS. Comparando la seconda e la terza opzione i risultati mostrano anche che la configurazione con due motori LSPM offre un beneficio di appena 1463 kWh/a rispetto alla terza opzione. Questo va letto nel contesto del numero di ore di funzionamento. Il secondo compressore di questa unità da 212 kW realizza in totale in questo calcolo solamente 1600 ore di funzionamento. La valutazione delle ore di funzionamento per differenti configurazioni di sistema sarà oggetto di ulteriori analisi. Come criterio per



valutare il rapporto tra costi e benefici in un sistema di compressori in parallelo, il focus dovrebbe essere sui compressori in servizio nei punti di rating C e D come illustrato in Tabella 2. I compressori che sono in servizio in queste condizioni operative trarrebbero vantaggio dall'essere dotati di un motore LSPM consentendo effettivi risparmi energetici.

Figura 5: Risultati della comparazione tra differenti configurazioni d'impianto per un clima moderato

5. Conclusioni

La moderna tecnologia basata su motori LSPM mostra un significativo contributo nella riduzione del consumo energetico annuo nei sistemi di refrigerazione commerciale. Indipendentemente dal metodo di calcolo applicato, la riduzione del consumo energetico annuo è considerevole ed mediamente dell'ordine del 13% in un clima moderato, freddo oppure caldo nell'ipotesi di lavorare a numero di giri variabile. In combinazione con il refrigerante naturale CO₂, la nuova gamma di compressori si propone come compromesso ottimale per la riduzione delle emissioni dirette ed indirette di gas serra e può quindi supportare il settore nella riduzione del carbon footprint. E' stata trattata in modo approfondito la questione su come valutare l'efficienza energetica. I risultati delle elaborazioni evidenziano che il metodo di calcolo secondo la norma EN13215 è un buon criterio per determinare il seasonal energy performance ratio. Il metodo, inizialmente sviluppato per unità condensatrici a singolo stadio può essere utilizzato per sistemi a maggiore complessità con flash gas bypass e scambiatore interno. Anche se il profilo di carico considerato nella EN13215 non distingue tra "negoziato aperto o chiuso", il metodo mostra una buona approssimazione per valutare il potenziale di risparmi energetici di diverse soluzioni applicative. Per la valutazione di risparmi in termini assoluti nell'energia annua lo schema calcolo dettagliato presentato ed applicato in questo lavoro è il metodo di scelta preferito. Per zone climatiche significativamente differenti l'applicazione di un profilo di carico generale è solo un compromesso. Calcolando l'efficienza energetica annuale per un semplice sistema di compressori in parallelo questo lavoro evidenzia anche che il funzionamento annuo di un compressore altamente efficiente ha una forte influenza sul potenziale di risparmi energetici. Questo lavoro infine ha proposto un criterio per valutare, per una specifica soluzione, il rapporto tra gli oneri di realizzazione ed i benefici ottenibili, considerando le ore annue di funzionamento per i due punti di rating più freddi considerati nella EN13215.

6. Nomenclatura

AS	Asynchronous Motor / Motore asincrono	IHX	Internal Heat Exchanger
COP	Coefficient of Performance [-]	LT	Low temperature
EER	Energy Efficiency Ratio [-]	LP	Low pressure
FGB	Flash Gas Bypass	LSPM	Line Start Permanent Magnet
HFC	Hydro-Fluorocarbons	MT	Medium temperature
HP	High pressure	Mt CO ₂ eq	Million tonnes CO ₂ equivalent
FGB	Flashgas-Bypass	SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio [-]
		SEPR	Seasonal Energy Performance Ratio [-]

7. Referenze

European Commission, 2016, EU Reference Scenario 2016 – Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050, *EU Publications Office ISBN 978-92-79-52373-1*, page 162, 202

Bundesanzeiger, 2016, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlageanlagen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Kälte-Klima-Richtlinie), *Bekanntmachung BAnz AT 19.12.2016 B7*, page 1-7

ASHRAE, 2009, Weather data viewer 4.0

Javerschek O, Reichle M. 2013, Experimental Evaluation of the Seasonal Energy Efficiency Rating for a Transcritical R744 Booster System in Various Climate Conditions, *Proc. Compressors Conference, IIF/IIR*: 12

Javerschek O, Reichle M, Karbinger J. 2016, Optimization of Parallel Compression Systems, *Proc. 12th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference, Edinburgh, IIF/IIR*

Vollmer D., 1996, ILK Dresden, Arbeit für den Forschungsrat Kältetechnik, Forschungsvorhaben FKT 126/05

