

SISTEMI DI REFRIGERAZIONE AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA FUNZIONANTI CON HFO (R1234ZE & R455A) E LOW GWP (R448A)

Carmine Marotta – General Gas

Negli ultimi anni sono stati sviluppati studi sull'ottimizzazione dei cicli di refrigerazione funzionanti con CO₂ in condizioni transcritiche. Spesso in questi studi si è preso come riferimento studi effettuati su cicli di refrigerazione monostadio funzionanti con R404A nella loro configurazione base.

E' certamente condivisibile la necessità di un confronto più approfondito tra le soluzioni che prevedono l'utilizzo della CO₂ transcritiche e non e soluzioni di impianto che preveda l'utilizzo di refrigeranti HFO o LGWP a limitato effetto serra con l'ausilio di soluzioni tecnologiche ben note nel mondo della refrigerazione da svariati anni e poco note ed utilizzate.

Pertanto abbiamo sviluppato uno studio termodinamico delle performances di un chiller avente le seguenti caratteristiche termotecniche: Potenza di refrigerazione all'evaporatore = 38KW, Temperatura di evaporazione = -10°C, Surriscaldamento utile = 5°C, surriscaldamento passivo = 5°C; Temperatura dell'aria ambiente = 10°C, 20°C e 33°C.

Lo studio termodinamico è stato sviluppando realizzando un software di calcolo che utilizzando Refprop 9.1 del NIST calcola le performances del chiller.

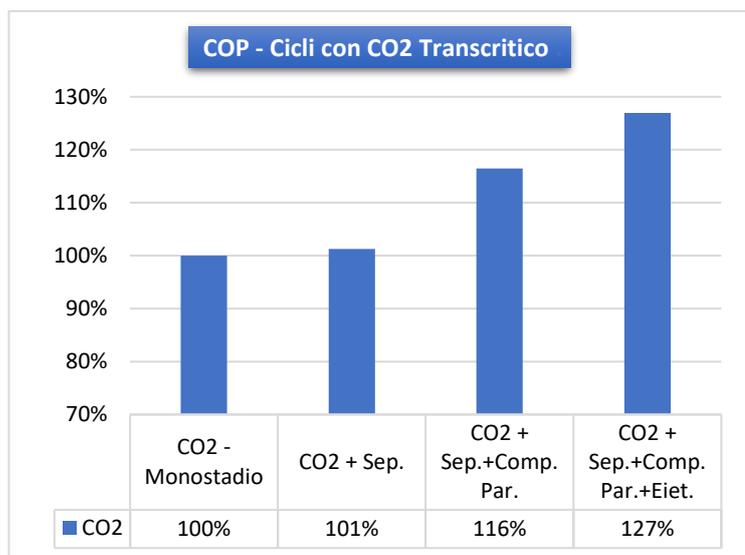
Al fine di elaborare uno studio approfondito dei punti di funzionamento del ciclo sono stati considerati i rendimenti volumetrici ed isoentropici caratteristici dei compressori più comunemente utilizzati nel mercato e prodotti da società leader nel settore. Tali valori sono stati calcolati utilizzando i software messi a disposizione dai produttori di compressori.

Nella prima parte dello studio si è proceduto nello studiare le performances dei seguenti cicli di refrigerazione funzionanti con CO₂ in condizioni transcritiche o subcritiche in funzione della temperatura ambiente:

1. Ciclo Monostadio Standard
2. Ciclo Monostadio con Separatore di Fase ed espansione intermedia
3. Ciclo Monostadio con Separatore di Fase ed espansione intermedia + Compressore Parallelo
4. Ciclo Monostadio con Separatore di Fase ed espansione intermedia + Compressore Parallelo + Eiettore

Le condizioni di lavoro di tali cicli sono di seguito riportate: T aria 33, 20 e 10°C; Temperatura di uscita dal gas cooler = T aria + 3°C; Pressione Gas Cooler ottimizzata; Temperatura di evaporazione = -10°C; Surriscaldamento all'evaporatore = 5°C; Surriscaldamento Passivo = 5°C. Nei casi in cui è prevista una pressione intermedia di espansione, tale valore è stato scelto in maniera tale da massimizzare il COP del ciclo.

I risultati ottenuti nel caso di Temperatura dell'aria ambiente pari a 33°C, sono riportati nel diagramma seguente.



Come si può notare dal grafico riportato di fianco, il COP aumenta man mano che la configurazione di impianto diventa più complessa ed efficiente. Di fatto l'utilizzo della tecnologia utilizzata, migliora l'efficienza del ciclo monostadio base, efficienza che in assenza di soluzioni tecnologiche performanti, si attesta su valori molto bassi.

Si è poi passati ad analizzare le performances dei cicli funzionanti con i seguenti refrigeranti

fluorurati: R1234ze, R455A e R448A. I cicli analizzati sono i seguenti:

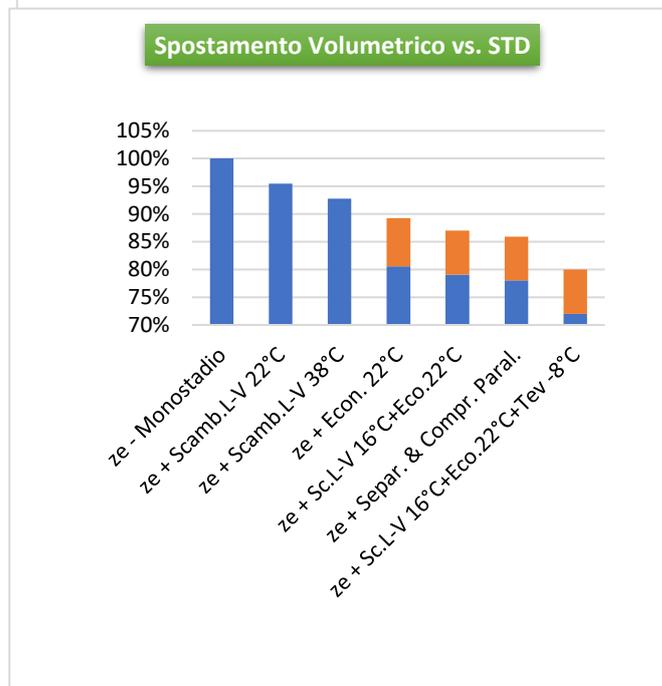
- 5) Ciclo monostadio standard
- 6) Ciclo monostadio con scambiatore liquido-vapore
- 7) Ciclo monostadio con economizzatore
- 8) Ciclo monostadio con economizzatore + scambiatore liquido-vapore

Questa ultima configurazione è stata studiata anche in una configurazione "High Performances"; tale configurazione prevede un surriscaldamento all'evaporatore molto basso (circa 1°C) ed una temperatura di evaporazione incrementata da -10°C a -8°C utilizzando la maggiore potenza scambiata dall'evaporatore nel caso in cui si lavori con un surriscaldamento molto basso. Tale condizione migliora di molto sia la potenza di refrigerazione e sia il COP di funzionamento del compressore frigorifero.

Le condizioni di lavoro di tali cicli sono di seguito riportate: T aria 33, 20 e 10°C; ΔT di lavoro al condensatore = 10°C (Temperatura media di condensazione – Temperatura della aria); Sottoraffreddamento = 3°C; Temperatura di evaporazione = -10°C; Surriscaldamento all'evaporatore = 5°C; Surriscaldamento Passivo = 5°C. Nei casi in cui è prevista una pressione intermedia di espansione, tale valore è stato scelto in maniera tale da massimizzare il COP del ciclo.

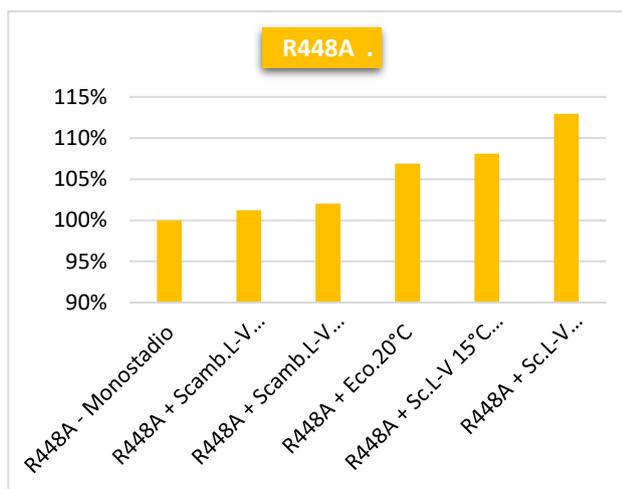
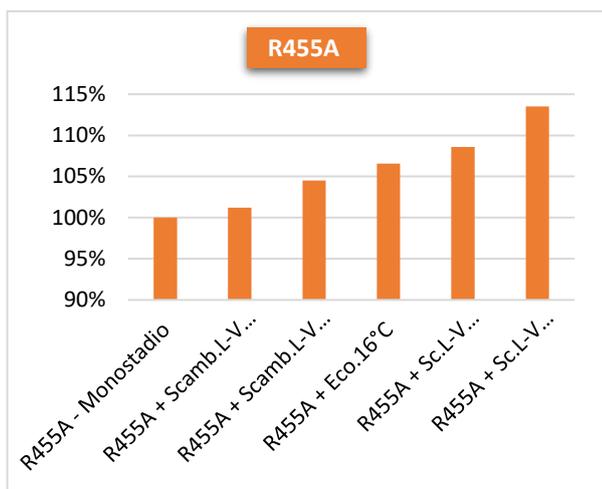
Nel caso di utilizzo di scambiatore liq-vap, lo scambio termico scelto è quello che massimizza il COP. Stessa cosa dicasi per la scelta del sottoraffreddamento meccanico realizzato a mezzo di economizzatore.

Riportiamo di seguito i risultati ottenuti per l'R1234ze con una temperatura dell'aria ambiente pari a 33°C.

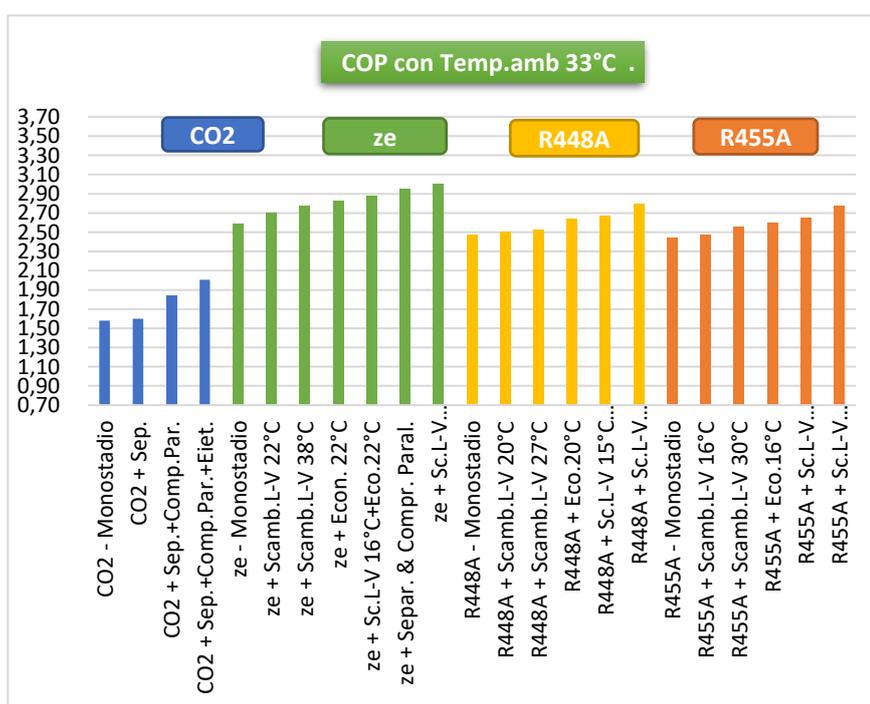


Come si può evincere dal diagramma, il COP del ciclo termodinamico aumenta fino al 16% rispetto al ciclo monostadio base utilizzando le soluzioni tecnologiche descritte in precedenza. L'utilizzo delle stesse soluzioni determina inoltre una diminuzione dello spostamento volumetrico necessario al fine di ottenere la stessa potenza di refrigerazione utile desiderata. Nel diagramma di seguito riportato si può notare come la diminuzione ottenibile è sostanziale raggiungendo il valore pari al 20% rispetto al ciclo monostadio base considerato. Nello stesso diagramma vengono indicati i valori ottenuti nelle varie ipotesi di lavoro, pari allo spostamento volumetrico del compressore primario in blu oltre che allo spostamento volumetrico del compressore secondario in arancio, asservito o all'economizzatore utilizzato nel ciclo o al compressore parallelo nel caso di utilizzo di un separatore di fase.

Uguale risultato si ottiene con i cicli funzionanti con R455A e R448A così come viene riportato nei diagrammi di seguito riportati.

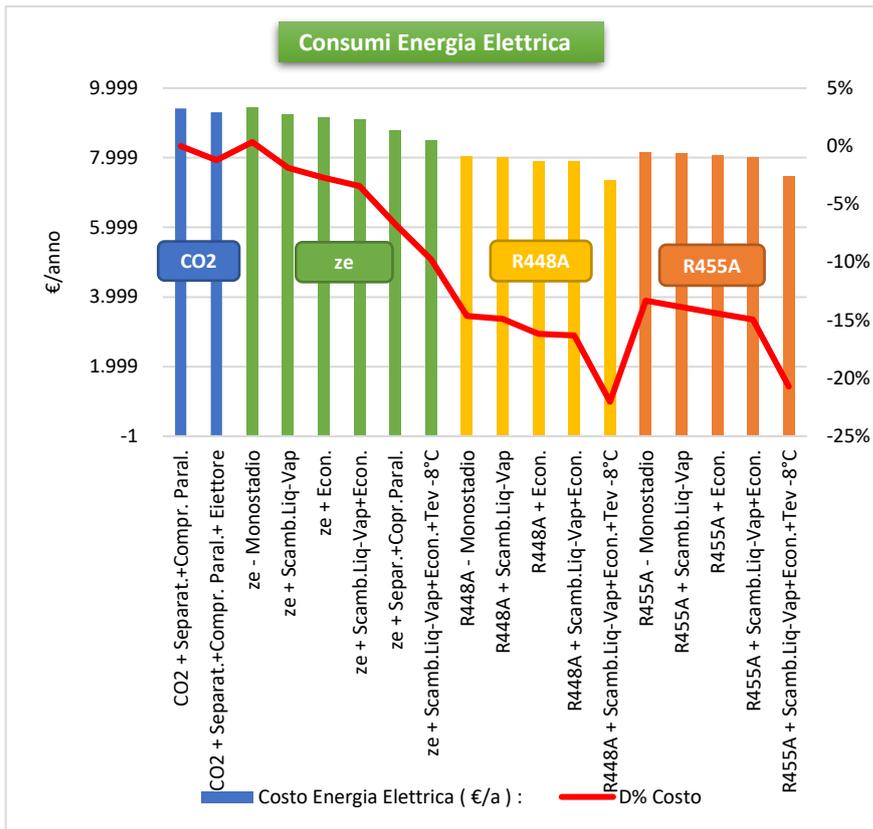


Analizzati i buoni risultati ottenuti nel miglioramento dell'efficienza energetica dei cicli descritti, si è proceduto con il confronto in condizioni di lavoro comparabili, del ciclo termodinamico funzionante con CO2 con i cicli termodinamici funzionanti con i refrigeranti a basso impatto ambientale R1234ze & R455A (HFO) e R448A (LGWP). Riportiamo nel seguente diagramma i risultati ottenuti. Come è possibile notare dal diagramma riportato, i cicli termodinamici ottimizzati funzionanti con refrigeranti fluorurati mostrano valori di



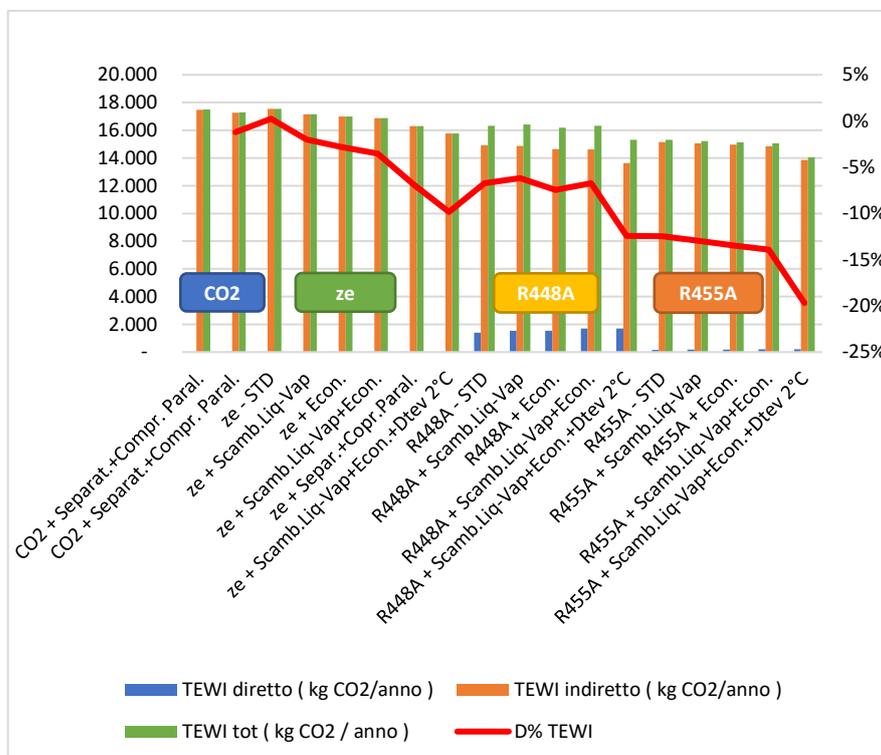
COP superiori anche del 50% ai valori ottenuti nei cicli funzionanti con CO2. Miglioramenti simili si sono ottenuti nell'analisi delle performances dei cicli studiati a temperature ambiente inferiori: 20°C (miglioramenti del COP dal 15% al 30%) e 10°C (miglioramenti del COP dal 12% al 22%).

Si è quindi provveduto nel calcolare i consumi elettrici riferiti alla potenza di refrigerazione richiesta pari a 38KW a -10°C e le temperature dell'aria caratteristiche della città di Milano. Nel diagramma di seguito riportato si evincono risultati di sicuro interesse in termini di puro saving energetico. E' possibile, infatti, ottenere saving energetici fino al 23% in funzione delle tecnologie utilizzate.



Stante l'elevata attenzione alle problematiche riguardanti l'emissione di gas serra con conseguente riscaldamento delle temperature ambienti derivanti dall'effetto serra, è stato calcolato il valore del TEWI caratteristico di ciascuna soluzione tecnologica. Per il calcolo del TEWI indiretto abbiamo utilizzato il valore specifico pari a 0,334 kg CO₂ / kWhr di energia elettrica, valido per l'Italia nel 2016. Riportiamo i risultati ottenuti nel diagramma di seguito

riportato. In tale diagramma è possibile evincere in prima battuta come il contributo dell'effetto diretto prodotto dalle perdite di gas refrigerante, incide molto poco sul valore del TEWI totale anche nel caso di gas refrigerante LGWP R448A avente un GWP pari a



1273. L'incidenza massima calcolata per l'R448A è pari al 12%. Nel caso dei cicli funzionanti con R1234ze e R455A, l'incidenza % dell'effetto diretto non supera l'1,5%.

Tali risultati fanno propendere la scelta della soluzione tecnologica da adottare dal punto di vista dell'impatto ambientale verso soluzioni di impianto che utilizzino R1234ze ed R455A come prima scelta ed

R448A come seconda scelta. Le soluzioni che prevedono l'utilizzo di CO2 sono fortemente penalizzate dalla minor efficienza energetica caratteristica di tali sistemi.

Risultati qualitativamente simili si ottengono anche con temperature ambientali inferiori: 20°C e 10°C. Le differenze nella efficienza energetica ovviamente diminuiscono, migliorando l'efficienza energetica dei cicli funzionanti con CO2 a temperature ambiente molto basse minori o uguali a 10°C. Nel caso di temperatura ambiente pari a 20°C, le differenze nelle efficienze energetiche rimangono fortemente favorevoli per i cicli funzionanti con R1234ze, R448a e R455A. Per necessità di sintesi non riportiamo nel documento i risultati ottenuti. Tali risultati sono disponibili inviando una mail a: c.marotta@generalgas.it.

Conclusioni:

Nello studio elaborato sono state confrontate diverse soluzioni tecnologiche scelte allo scopo di incrementare l'efficienza energetica degli impianti di refrigerazione funzionanti con refrigeranti HFO (R1234ze & R455A) e LGWP (R448A). I risultati ottenuti da tale studio dimostrano come utilizzando alcune soluzioni tecnologiche semplici da implementare e gestire, sia possibile aumentare l'efficienza energetica di tali impianti a valori di gran lunga superiori a quelli ottenuti con le migliori soluzioni impiantistiche utilizzate con il refrigerante CO2. Le migliori efficienze energetiche ottenute migliorano in maniera apprezzabile anche i valori di TEWI prodotti dalle diverse tecnologie utilizzate, facendo diventare le soluzioni impiantistiche proposte le migliori soluzioni in termini di minor impatto ambientale ottenibile (minor TEWI).