

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base



Università degli Studi di Napoli Federico II

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Tesi di laurea triennale in Ingegneria Per l'Ambiente e il Territorio

I cicli transcritici nella refrigerazione

Anno accademico 2013-2014

Relatore:

Ch.ma Prof. Adriana Greco

Candidato

Serena Tanzi

Matricola N49/377

Correlatore:

Ing. Claudia Masselli

Struttura della presentazione

- Introduzione : problema e obiettivi
- Fluidi naturali per la refrigerazione : CO₂
- Ciclo transcritico: caratteristiche e prestazioni, come migliorarle?
- Maggiori utilizzi : pompe di calore, sistemi di refrigerazione commerciale, essiccatori d'aria e impianti di condizionamento negli autoveicoli.

Introduzione

° Nei settori della refrigerazione e nei sistemi a pompa di calore i refrigeranti più utilizzati attualmente sono i fluidi sintetici

Problema

- I fluidi sintetici hanno un impatto negativo sull'ambiente :
buco dell'ozono ed effetto serra

Normativa

- Negli anni le normative ambientali hanno sostituito i fluidi sintetici

Obiettivi

- Maggiore studio e ricerca verso soluzioni alternative come l'uso di refrigeranti naturali

La Normativa

- Una maggiore sensibilità verso le problematiche ambientali da parte della comunità europea e a livello mondiale, ha spinto la Normativa ad essere sempre più restrittiva verso l'utilizzo, prima dei fluidi CFC e HCFC, e poi degli HFC.

Nell'anno 2000, in conseguenza a quanto affermava il Protocollo di Montreal, il 31 Dicembre viene bandito l'uso dei CFC

In seguito al regolamento europeo del 2009, il 1/1/2010 vengono banditi definitivamente anche gli HCFC

Sulle orme del Protocollo di Kyoto, la Norma "F-Gas" dell'Unione Europea pone una serie di limitazioni agli HFC con elevato GWP

Tali restrizioni, imposte dalla Normativa, hanno incentivato la ricerca e lo studio verso possibili alternative ai fluidi sintetici, ovvero i fluidi naturali!

Fluidi naturali :

L'anidride carbonica venne utilizzata come fluido refrigerante già a partire dal 1850, sia per applicazioni frigorifere fisse, sia per applicazioni navali ,poi dagli anni '30 fu sostituita dai fluidi sintetici che assicuravano maggiori efficienze.

Vantaggi

- Poco costosa e molto abbondante
- ODP = 0 e GWP = 1
- Sicurezza : non infiammabile e non tossica
- E' un fluido inerte compatibile con tutti i materiali

Svantaggi

- Lavora ad alte pressioni: instabilità dei componenti
- Bassa Temperatura Critica = 30.98 °C
- Bassa Efficienza del ciclo
- Peso maggiore dell'aria

Efficienza

Eco-compatibilità

Perché utilizzare la CO₂ come refrigerante ?

Alta conducibilità termica

Alta densità fase vapore

Alte pressioni operative

Bassa tensione superficiale

Elevati coefficienti di scambio termico

Elevato effetto frigorifero volumetrico

Basso rapporto di compressione

Sistemi più compatti

Calore di vaporizzazione più elevato

Minore portata volumetrica

Minore viscosità cinematica

La CO₂ scorre in maniera più fluida all'interno del circuito e si miscela meglio con il lubrificante

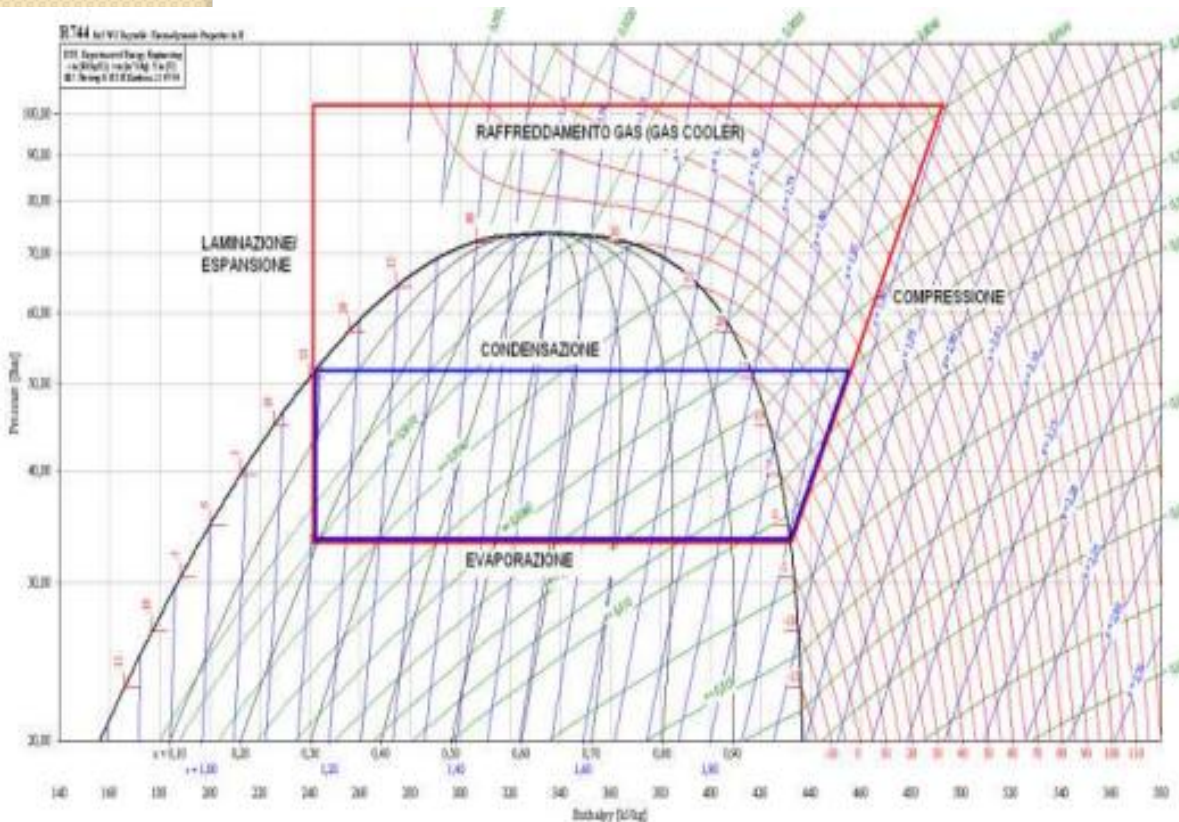
ODP=0 e GWP=1

Eco-compatibile con l'ambiente

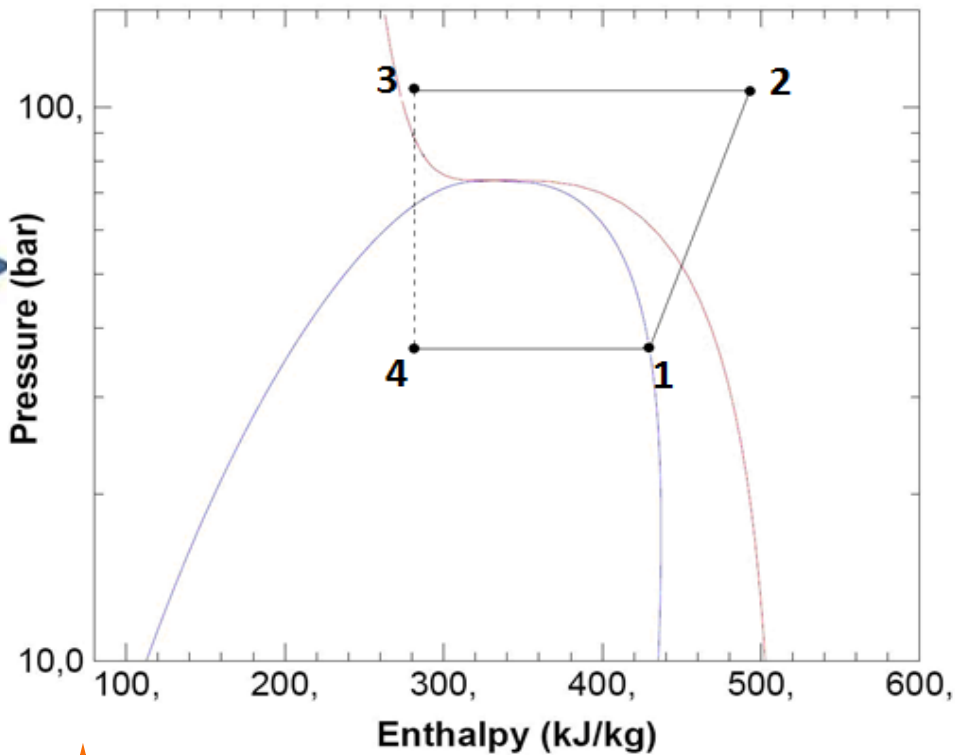
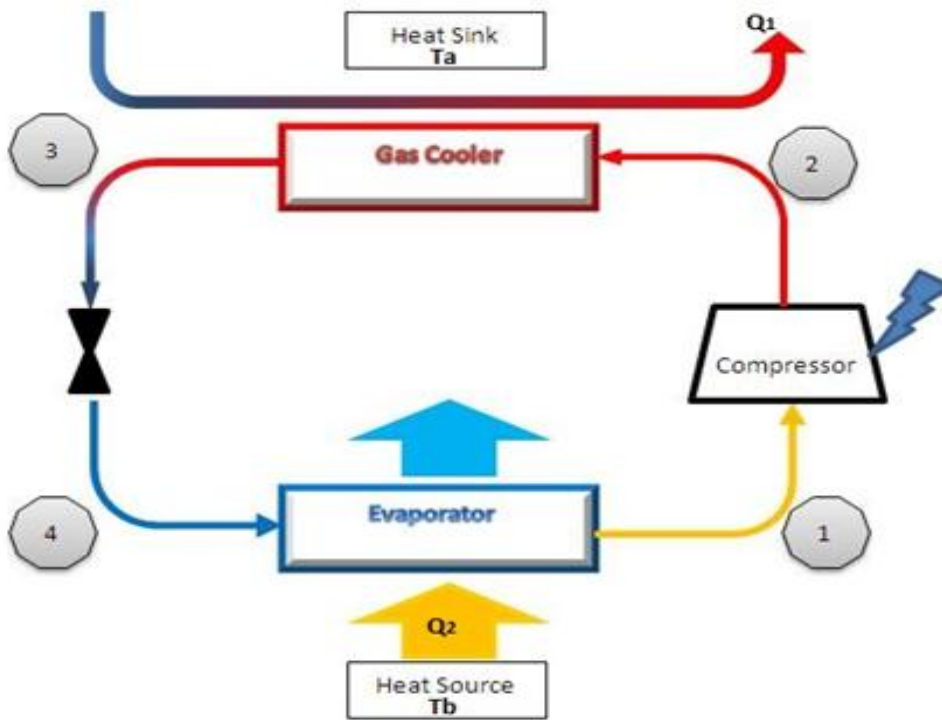
Ciclo transcritico

Un ciclo frigorifero è un ciclo termodinamico in grado di trasferire calore da un ambiente a bassa temperatura ad uno a temperatura superiore.

Se il fluido evolvente nel ciclo è CO₂ si parla di ciclo transcritico.



La pressione critica per la CO₂ è 73.8 bar mentre la temperatura critica assume valore pari a 30.98°C. Per ciclo transcritico si intende un ciclo che opera in condizioni di temperatura e pressione maggiori di quelle critiche.



✦ Componenti di un ciclo transcritico

✦ Rappresentazione nel piano P-h



- 1-2 Compressione di vapore
- 2-3 Raffreddamento del gas
- 3-2 Espansione
- 3-4 Evaporazione

Efficienza

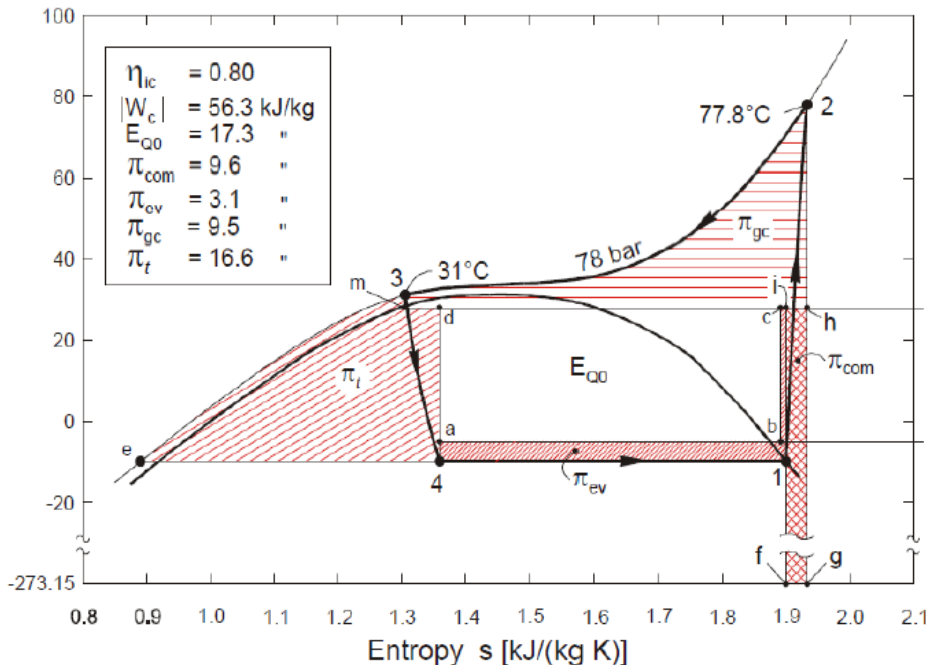
$$COP_f = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$



L'efficienza di un ciclo inverso è rappresentato dal COP, dato dal rapporto fra effetto utile, calore ceduto all'ambiente (pompa di calore), o calore sottratto alla cella (frigorifero) ed energia necessaria per ottenerlo (ossia il lavoro netto richiesto dal compressore):

MA per un ciclo transcritico il COP è inferiore di circa il 20% rispetto ad un ciclo classico

Perché?



- Maggiori perdite energetiche nel gas-cooler data l'elevata differenza tra T2 e la temperatura ambiente.
- Maggiori perdite energetiche nella fase di laminazione



Come aumentare il COP?

Per migliorare l'efficienza del ciclo: o aumenta l'effetto refrigerante o diminuisce il lavoro specifico di compressione

OTTIMIZZAZIONE DEL GAS-COOLER

Con una temperatura più bassa all'uscita del gas-cooler si ha solo un aumento dell'effetto refrigerante Δq_{EV}

CONDIZIONE NECESSARIA E SUFFICIENTE



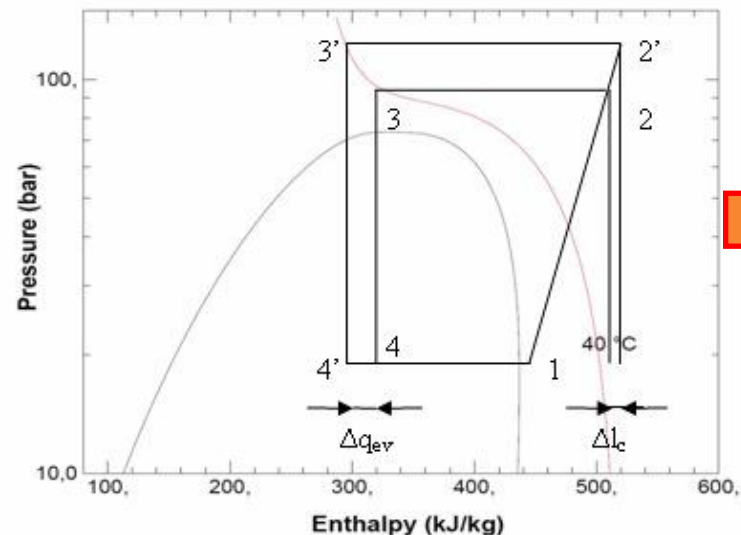
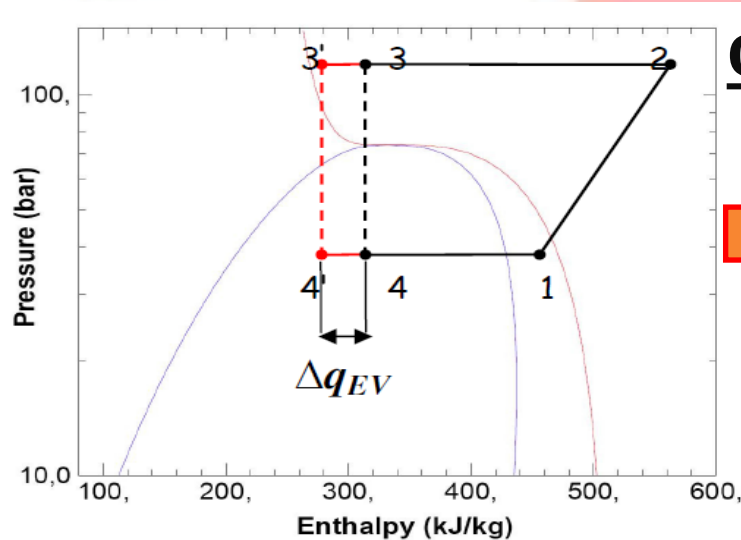
Efficienza del gas-cooler

PRESSIONE OTTIMALE

Trovare la pressione ottimale alle quale $\Delta q_{ev} > \Delta l_c$



$$P_{opt} = (2.778 - 0.0157 \cdot t_e) \cdot t_{gc} + (0.381 \cdot t_e - 9.34)$$



AL CRESCERE DELLA CARICA

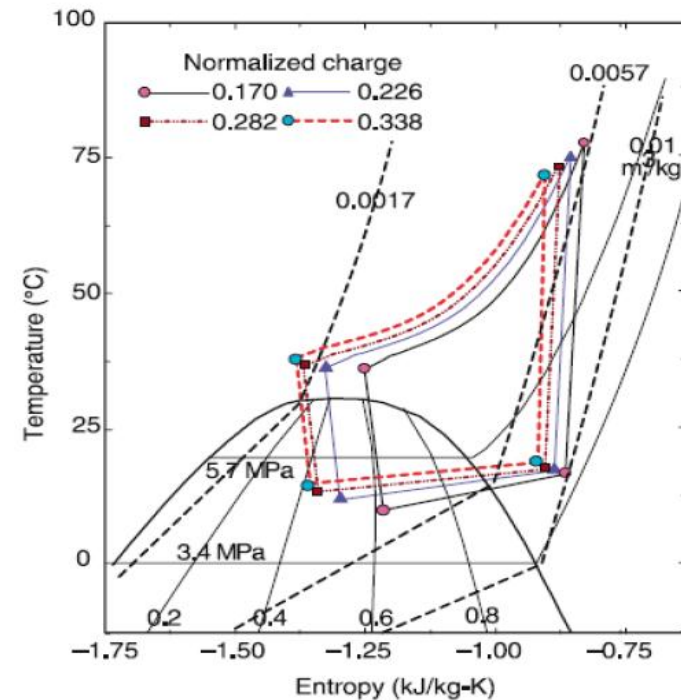


AUMENTA L'EFFETTO
REFRIGERANTE



AUMENTA IL LAVORO SPESO DAL
COMPRESSORE

Carica refrigerante ottimale

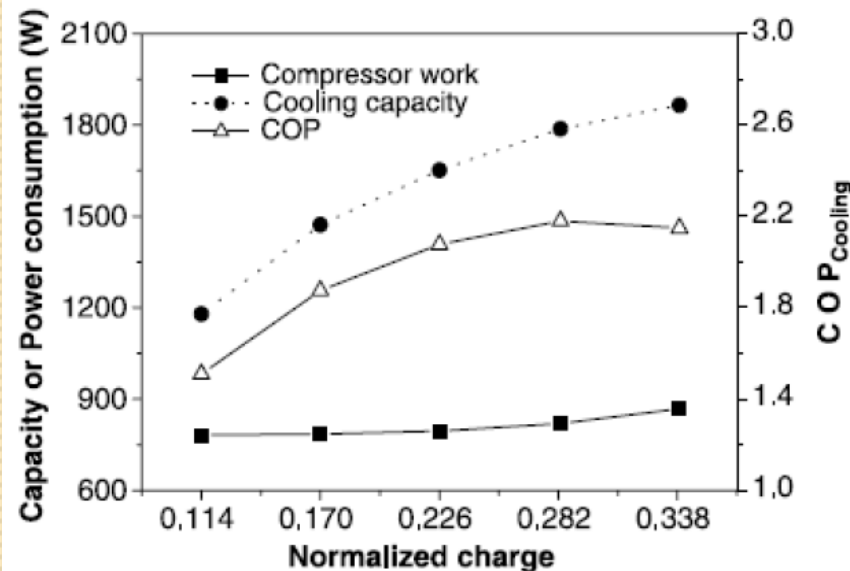


All'aumentare della carica, superato un certo valore critico, il compressore comincia ad assorbire un quantitativo di energia in crescita non controbilanciato dall'aumento del potere refrigerante.



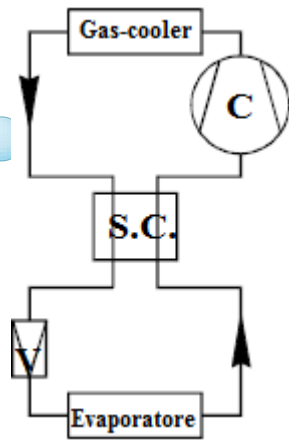
VALORE OTTIMALE DELLA CARICA

$$\text{Normalized-charge} = \frac{m_{\text{actual}} - m_{\text{vapor}}}{m_{\text{liquid}} - m_{\text{vapor}}}$$



Modifiche al ciclo base:

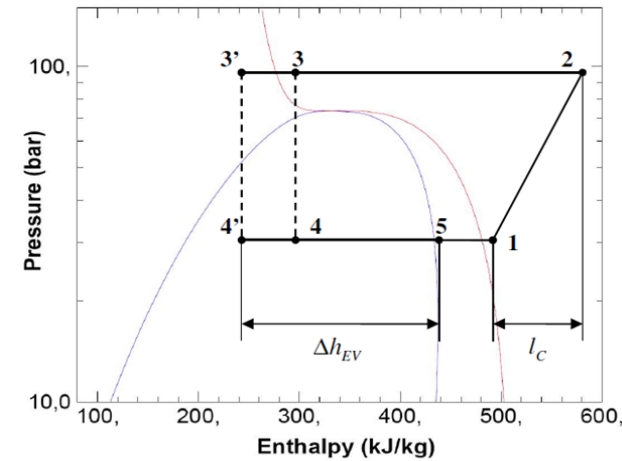
Ciclo rigenerativo:



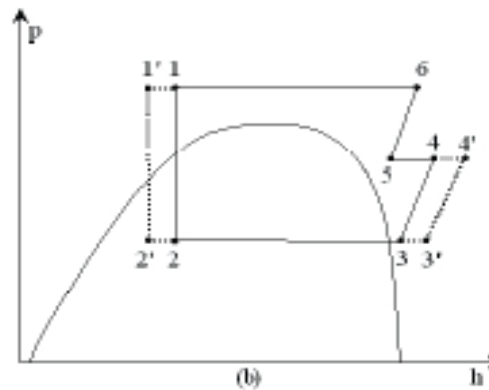
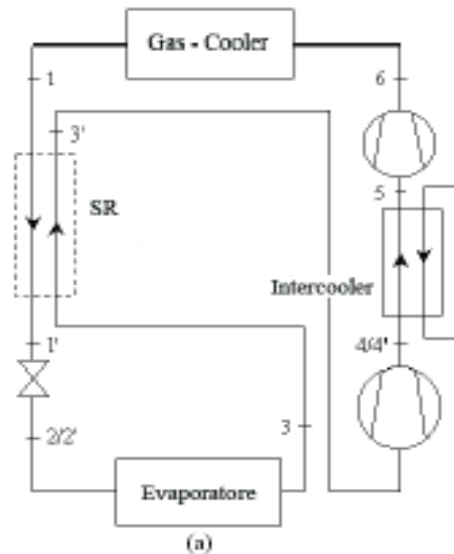
- Aumenta l'effetto frigorifero
- Aumenta il lavoro di compressione
- Il surriscaldamento 5-1 protegge il compressore



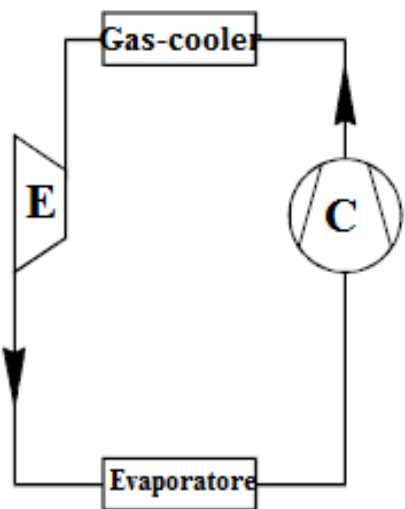
IL COP AUMENTA SE $\Delta h_{ev} > \Delta l_c$



Ciclo multistadio con inter-refrigerazione

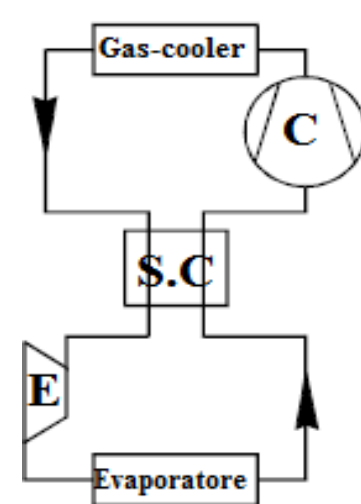


IL COP è AUMENTATO
DEL 20%



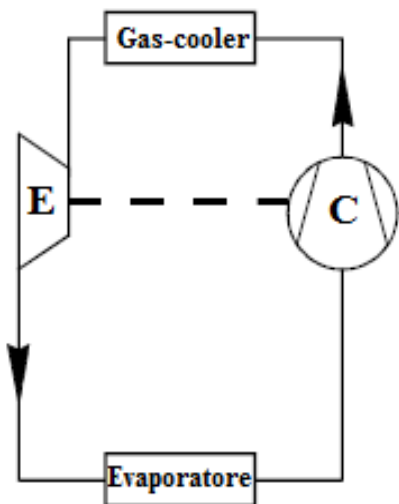
Senza recupero del lavoro di espansione

- Aumenta l'effetto frigorifero grazie all'espansore
- Confrontando i due COP essi risultano uguali



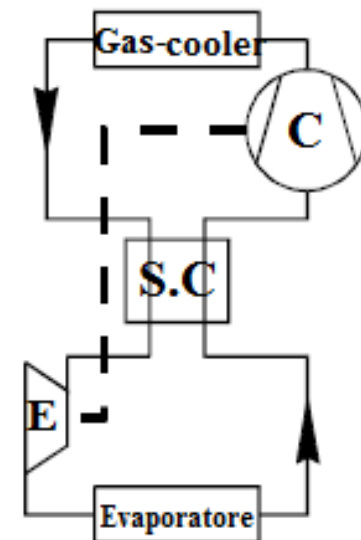
✧ Ciclo ad espansione

✧ Ciclo rigenerativo con espansione



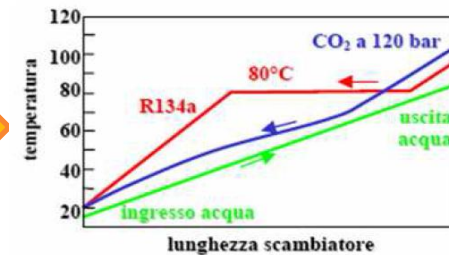
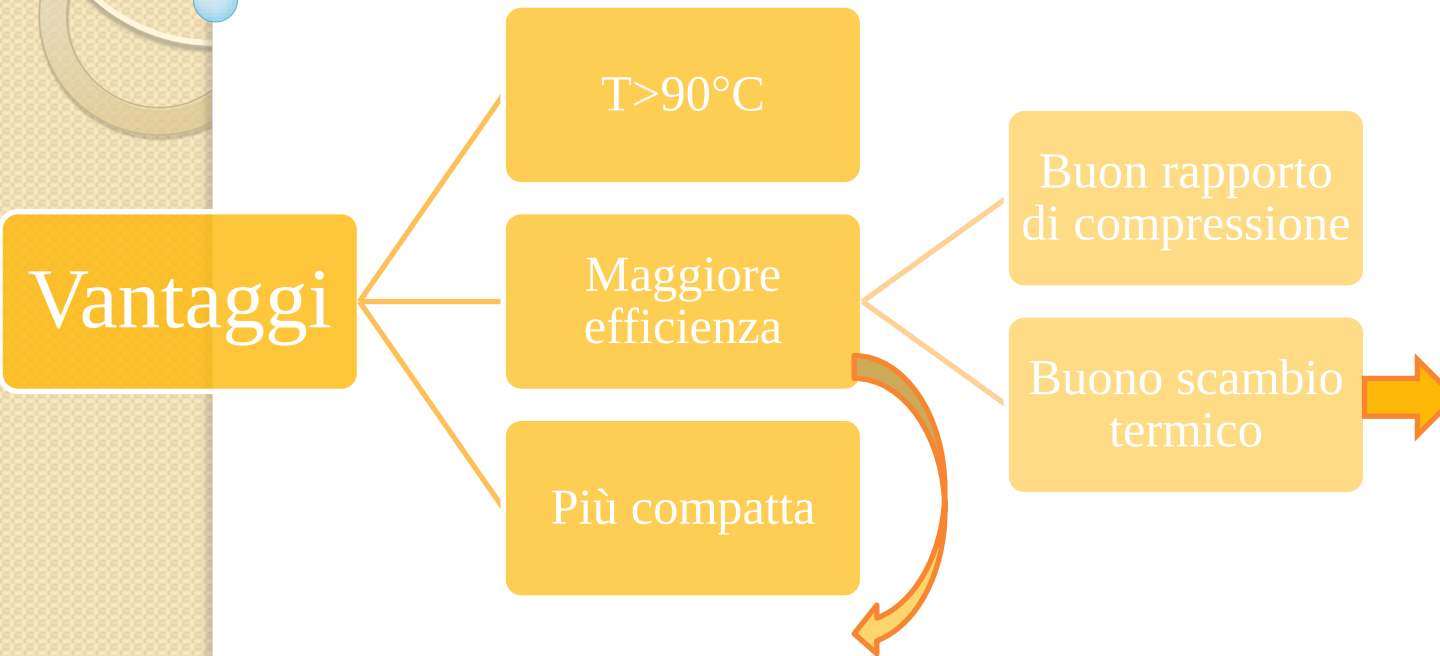
Con recupero del lavoro di espansione

- Aumenta l'effetto frigorifero
- Diminuisce il lavoro di compressione
- Il COP per sola espansione è maggiore del COP rigenerazione-espansione



POMPE DI CALORE a CO₂

L'effetto utile per una pompa di calore è il calore scambiato nel gas-cooler



profili termici dei fluidi
meglio accoppiati.

Minore è la temperatura di uscita del
gas-cooler e maggiore è l'efficienza
della pompa

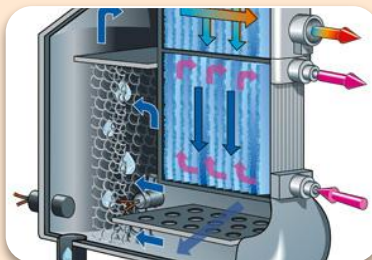
Le prestazioni di una pompa di calore a CO₂ aumentano quanto
maggiore è la differenza di temperatura lato scambiatore di
calore ad alta pressione: PRODUZIONE ACQUA SANITARIA

Altri campi di utilizzo

I settori applicativi più promettenti per l'R744 riguardano sia il mercato della refrigerazione industriale ed alimentare, sia il mercato del condizionamento domestico.



Refrigerazione commerciale



Essiccatori d'aria



Condizionamento negli autoveicoli



Unità di condizionamento per uso militare

CONCLUSIONI

L'anidride carbonica presenta molteplici vantaggi , primo fra tutti il basso impatto ambientale, ma la sua ascesa è frenata dalle grandi limitazioni in termini di efficienza energetica che offre.

Continuando ad incentivare la ricerca verso nuove soluzioni di impianti eco-compatibili il problema ambientale , causato dall'uso dei fluidi sintetici, potrebbe essere risolto definitivamente!