

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale
***«Compressori per cicli frigoriferi a compressione di
vapore: aspetti progettuali, strategie di controllo
ed efficienza energetica»***

Tutor universitario: Prof. Carraro Gianluca

Laureanda: *Pelanda Anna*

Padova, 16/07/2026

I sistemi HVAC sono responsabili dell'emissione annuale di 4 Gt di CO₂ e, in base alla località, di una frazione importante del consumo energetico globale.

Tramite le pompe di calore si può:

- Decarbonizzare i sistemi di riscaldamento e raffrescamento;
- Ottenere sistemi da 3 ÷ 5 volte più efficienti rispetto alle soluzioni tradizionali.

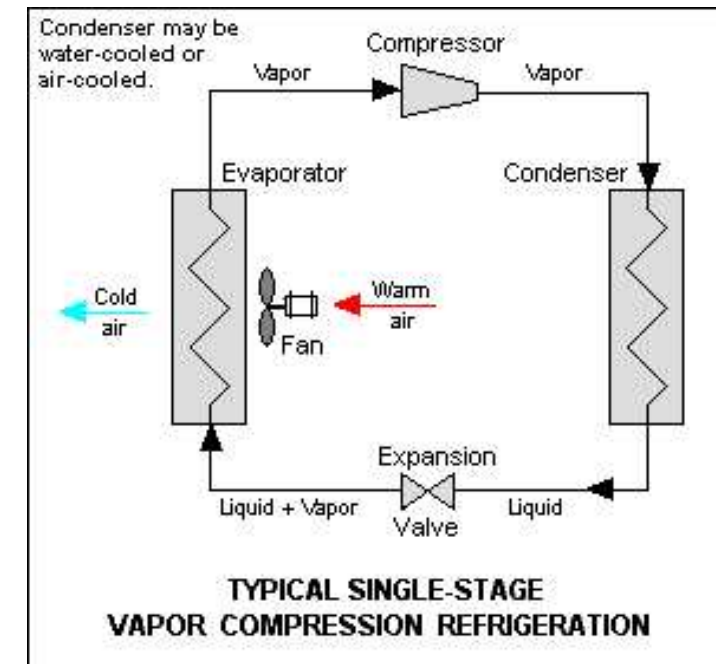
Analisi del sistema «pompa di calore» per valutare l'influenza sulle prestazioni:

- Del fluido operativo
- Del compressore
- Delle configurazioni di ciclo

Studio del caso applicativo dei sistemi di condizionamento dei veicoli elettrici, per determinare le soluzioni che assicurino la maggiore affidabilità e continuità operativa.

Ciclo inverso in quattro stadi in cui il fluido refrigerante assorbe e rimuove calore da uno spazio per raffreddarlo.

Gli elementi principali sono l'evaporatore, il condensatore, il compressore, la valvola di laminazione e il fluido operativo refrigerante.



Le normative del:

- Protocollo di Montréal (1987)
- Kigali Amendment (2016)

Impongono la messa al bando dei CFC per il 2030 e la riduzione dei fluidi ad elevato GWP al 15% entro il 2036.

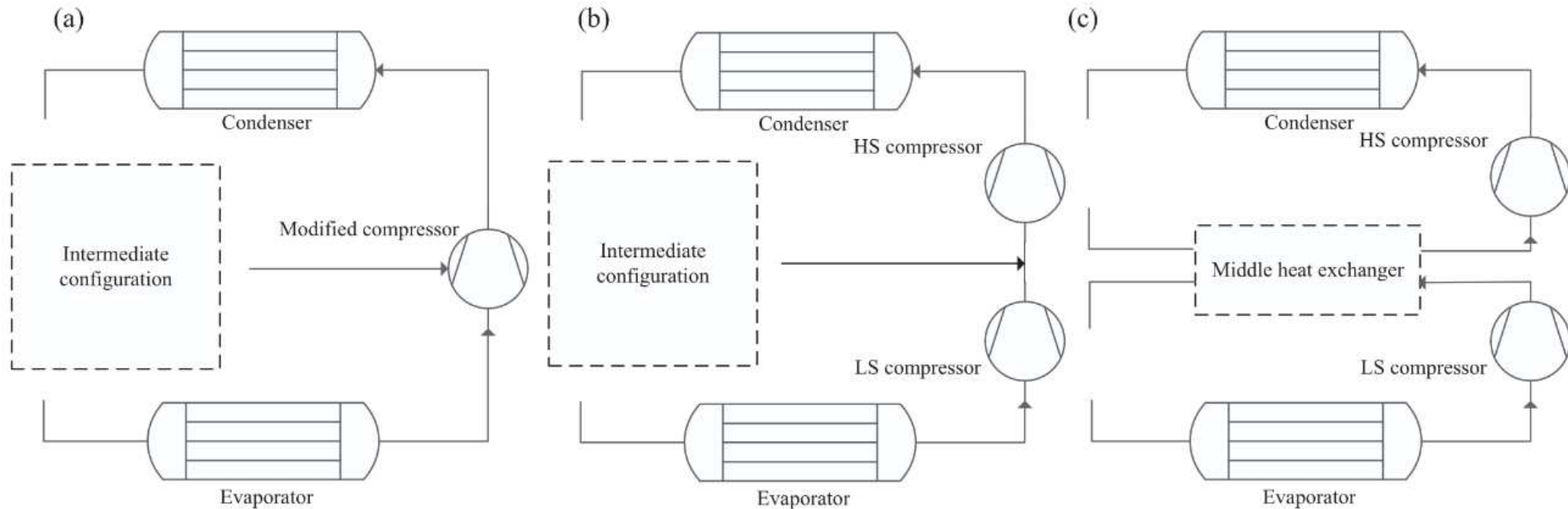
Le migliori alternative agli HFC e CFC sono: R744, R290, R600a, R1234yf.

Fluido operativo	R404A	R134a	R290	R1270	R1234yf
$\dot{Q}_e$ [kW]	1,23	1,02	0,95	1,17	1
COP	2,67	2,89	3,00	2,96	2,74
GWP	3922	1430	3	2	4

Flusso termico [kW]								
<5	5	10	70	150	200	350	1500	>1500
Compressore a palette								
	Compressore scroll							
	Compressore alternativo							
			Compressore a vite					
				Compressore centrifugo				

(El Samad, Żabnieńska-Góra, Jouhara, & Sayma, 2024)

- Compressore a palette:
Adatto a $r_p < 6,5$ e per diverse portate e richieste termiche ;
- Compressore scroll:
Adatto a $r_p < 5,5$ e per variazioni di temperatura meno drastiche;
- Compressore alternativo:
Per $r_p = 4 \div 14$;
- Compressore a vite:
Adatto ai casi in cui sia necessaria una compressione continua;
- Turbocompressore.



Schema di un sistema di compressione (a) quasi-two-stage, (b) a due stadi, (c) in cascata, (Zhang, Lang, Dong, & Yao, 2018)

Sistemi Quasi-Two-Stage:

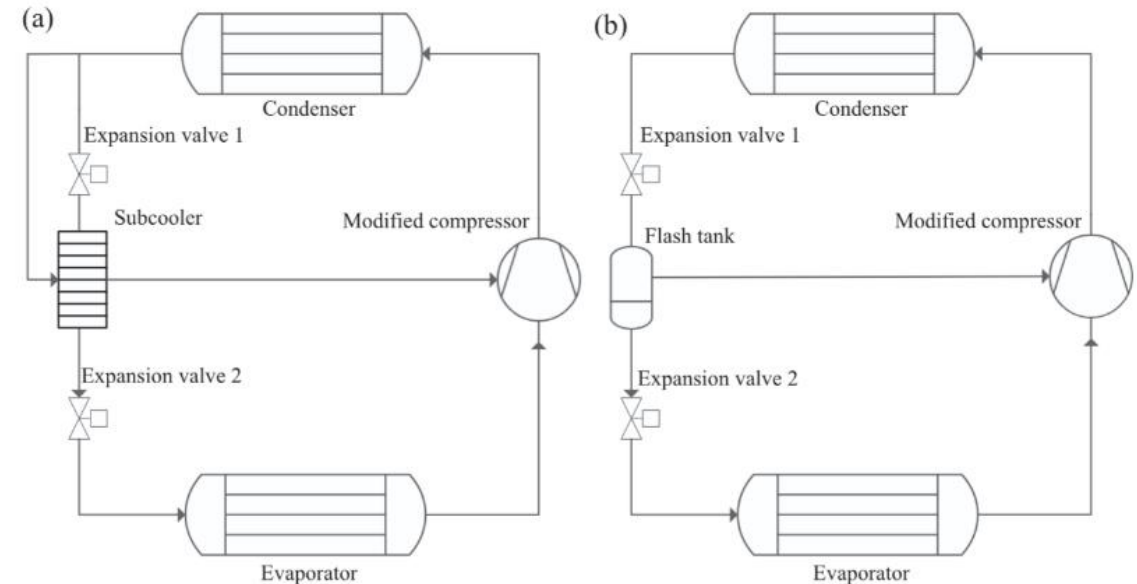
- Basic Intermediate Configuration
 $\dot{Q} = +8,6\%$, $\text{COP} = +6\%$;
- Improved Intermediate Configuration
 $\dot{Q} = +19,8\%$, $\text{COP} = -8,6\%$;
- Iniezione di vapore
 $\text{COP} = +10\%$, per $r_p < 5$.

Sistemi a due stadi:

- COP al massimo +30,6%.

Sistemi in cascata:

- COP exergetici = +70%.



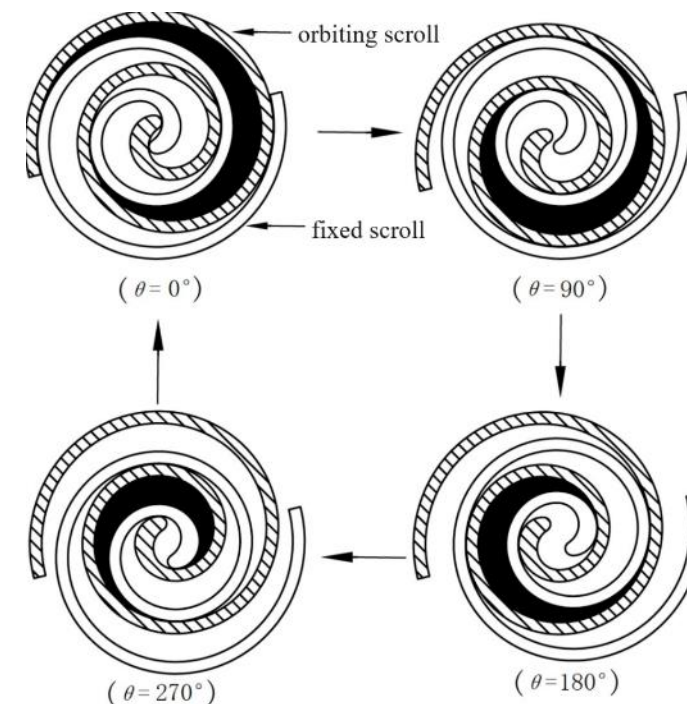
*Schema del DEQCSS (a) e del QCSSFT (b),
(Zhang, Lang, Dong, & Yao, 2018)*

Nei veicoli elettrici la scelta migliore per i sistemi di condizionamento sono i compressori scroll.

Il fluido operativo associato è l'R744 perché è non tossico, non infiammabile, disponibile.

Inoltre è associato a:

- $COP > 1$;
- $\dot{Q} = 7,5 \text{ kW}$ anche a $T < -20 \text{ °C}$.



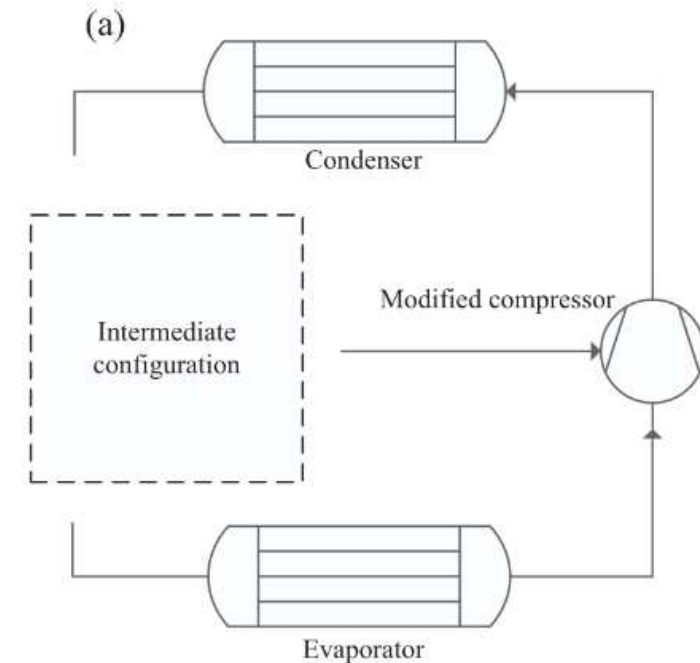
*Processo operativo di un compressore scroll,
(Zhang, Peng, Zhang, & Liao, 2024)*

Sistema a iniezione di vapore:

- $\dot{Q} = +45,5\%$ e $+16,8\%$
- Introduce maggiori complessità nel sistema

Tramite:

- L'evaporazione parziale, si aumentano la capacità di riscaldamento del $50 \div 132\%$ e la capacità di raffrescamento del 20% ;
- Scambiatori di calore interni, si aumenta il COP del 15% ;
- Eiettori, c'è maggiore applicabilità ad elevate temperature ambiente.



Le pompe di calore sono ormai riconosciute come una tecnologia critica nel processo di decarbonizzazione della produzione termica.

Nel rispetto delle normative ambientali e delle condizioni operative, si possono ridurre:

- Il lavoro di compressione,
- Le temperature di mandata di $8 \div 16,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

e aumentare:

- Il COP fino al 10%.

Nei veicoli elettrici le tecnologie di iniezione di vapore consentono:

- Aumento dell'efficienza del sistema con $\dot{Q} = 7,5 \text{ kW}$;
- L'autonomia dei veicoli può aumentare anche del 20%

Rimane un ampio margine di miglioramento.

Grazie dell'attenzione.