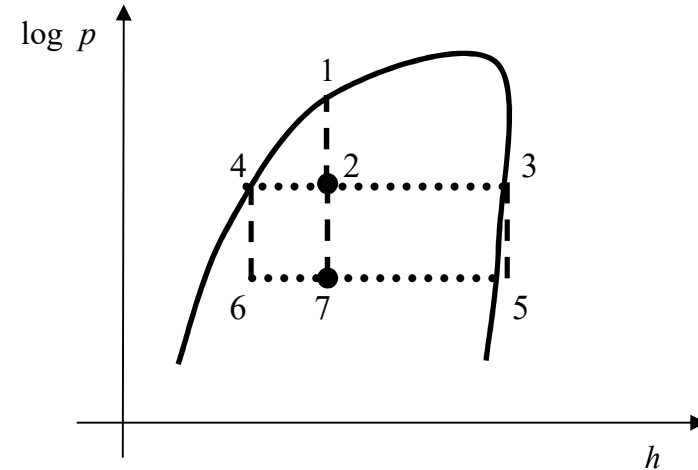
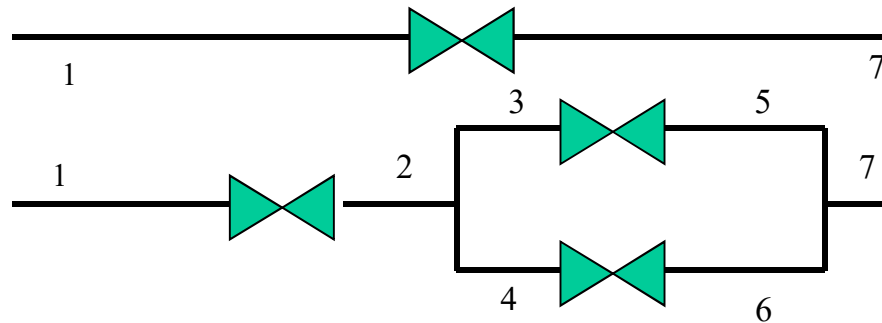
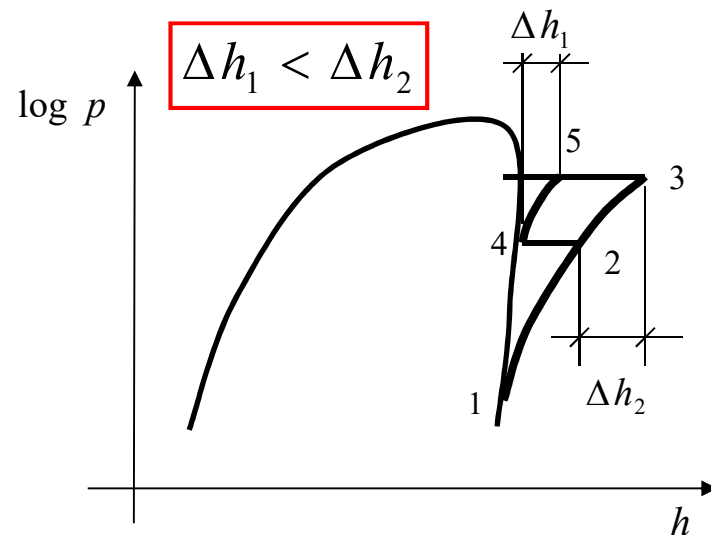


# CICLO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

- ESPANSIONE FRAZIONATA
- RIMOZIONE DEL FLASH GAS



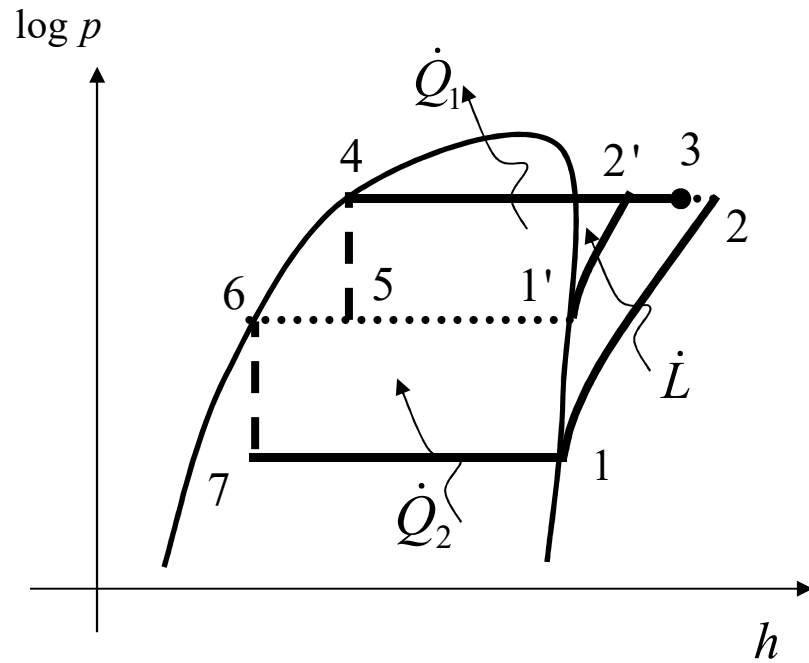
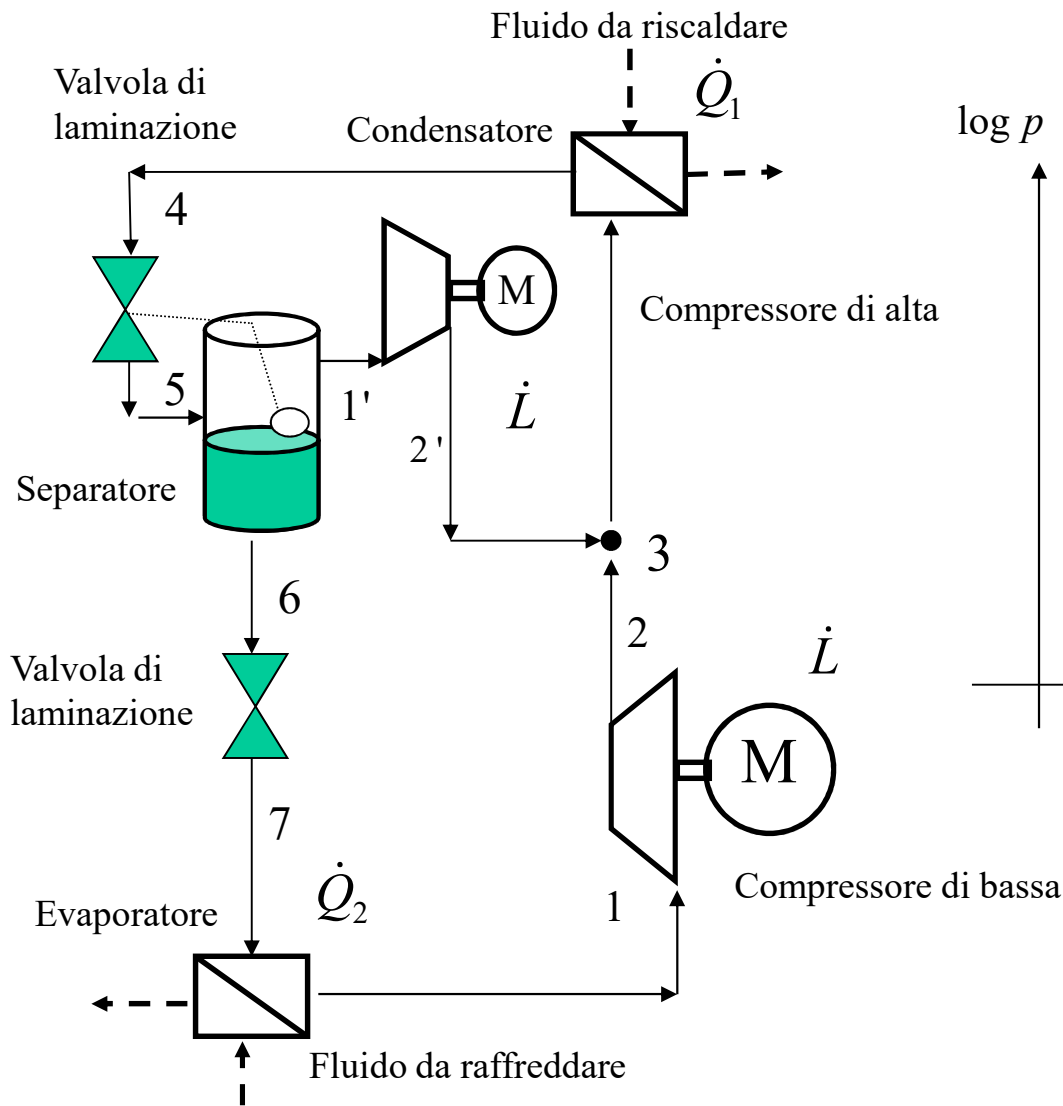
- COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA



AMMONIACA [R717]					
Punto	Temperatura [°C]	Pressione [kPa]	Portata [kg/s]		Entalpia [kJ/kg]
			Liquido	Vapore	
1	30	1164.0	1.000	-	342.0
2	8	572.1	0.915	0.085	342.0
3	8	572.1	-	0.085	1469.9
4	8	572.1	0.915	-	237.2
5	-2.15	289.2	-	0.085	1469.9
6	-10	289.2	0.856	0.059	237.2
7	-10	289.2	0.856	0.144	342.0

# CICLO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

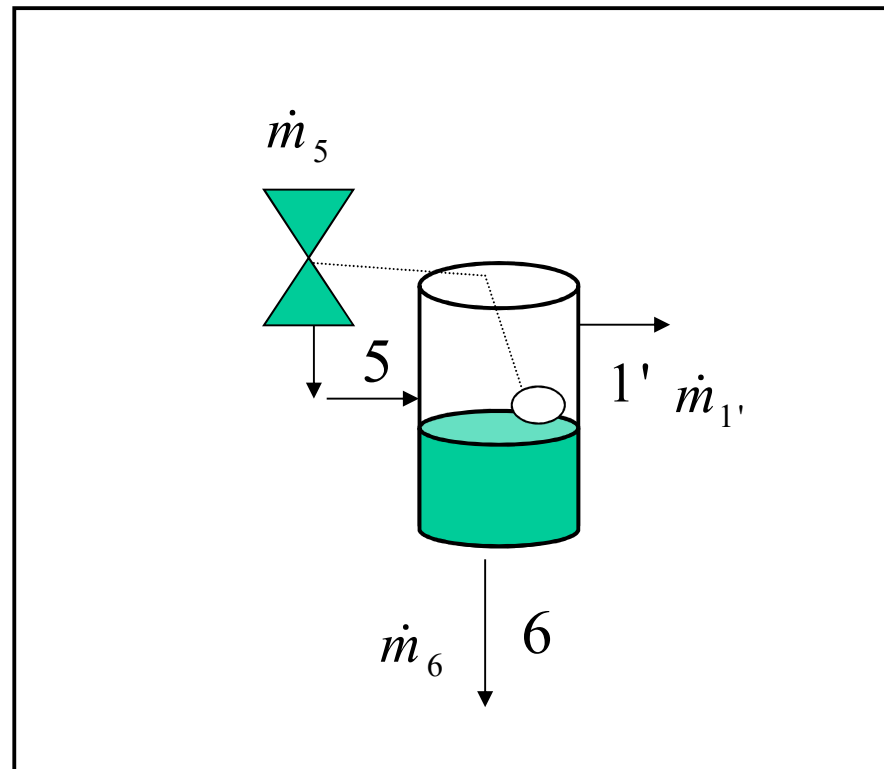
• ESPANSIONE FRAZIONATA – 1° modalità



## ESPANSIONE FRAZIONATA – 1° modalità

- Bilancio di massa al separatore

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 + \dot{m}_{1'}$$



## ANALISI ENERGETICA BISTADIO - ESP FRAZIONATA -2° modalità

- Potenza termica scambiata al condensatore

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_5 (h_4 - h_3)$$

- Potenza termica scambiata all'evaporatore

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_6 (h_1 - h_7)$$

- Potenza meccanica fornita ai compressori

$$|\dot{L}| = \dot{m}_{1'} (h_{2'} - h_{1'}) + \dot{m}_6 (h_2 - h_1)$$

- Relazioni valide alle valvole di laminazione

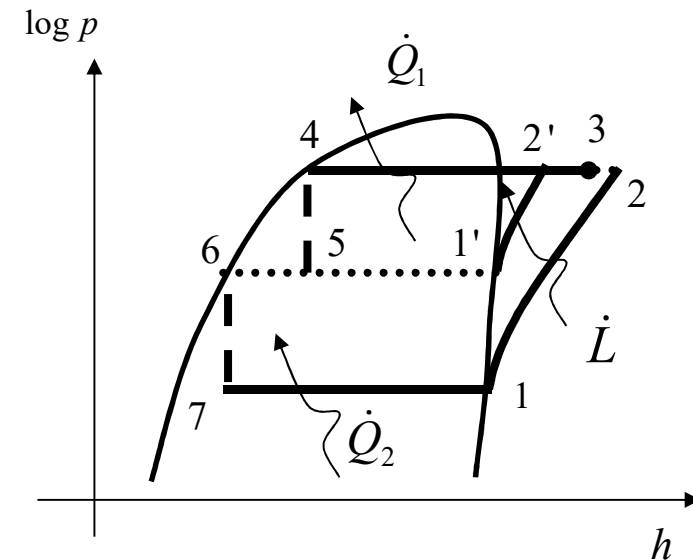
$$h_4 = h_5 \quad h_6 = h_7$$

- Coefficiente di prestazione frigorifera ( $\varepsilon$ )

$$COP_F = \varepsilon = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{L}} = \frac{\dot{m}_{1'} (h_1 - h_7)}{\dot{m}_{1'} (h_{2'} - h_{1'}) + \dot{m}_6 (h_2 - h_1)}$$

- Bilancio di massa al separatore

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 + \dot{m}_{1'}$$



# CICLO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

•ESPANSIONE FRAZIONATA – 2° modalità

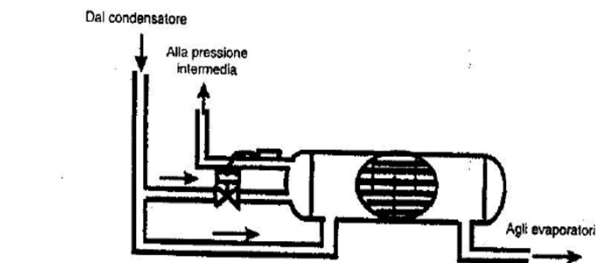
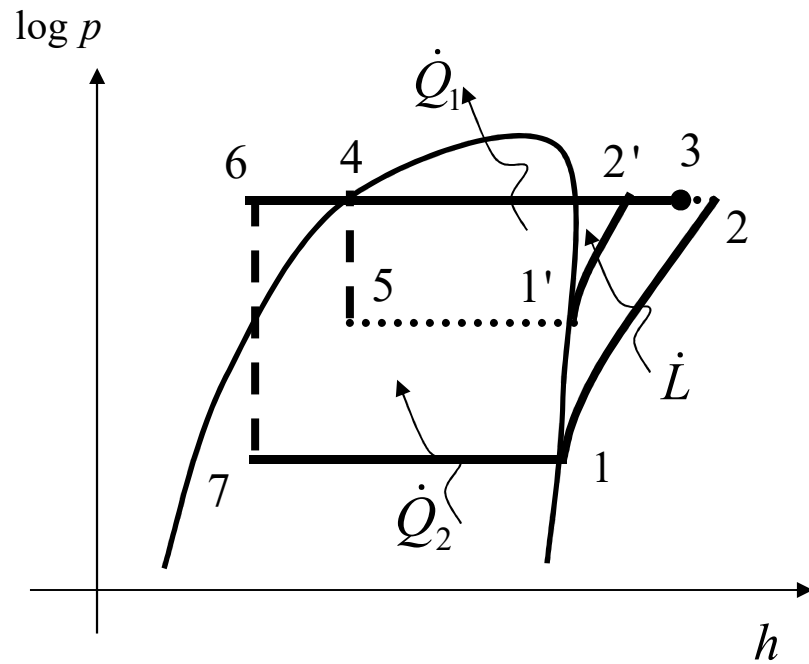
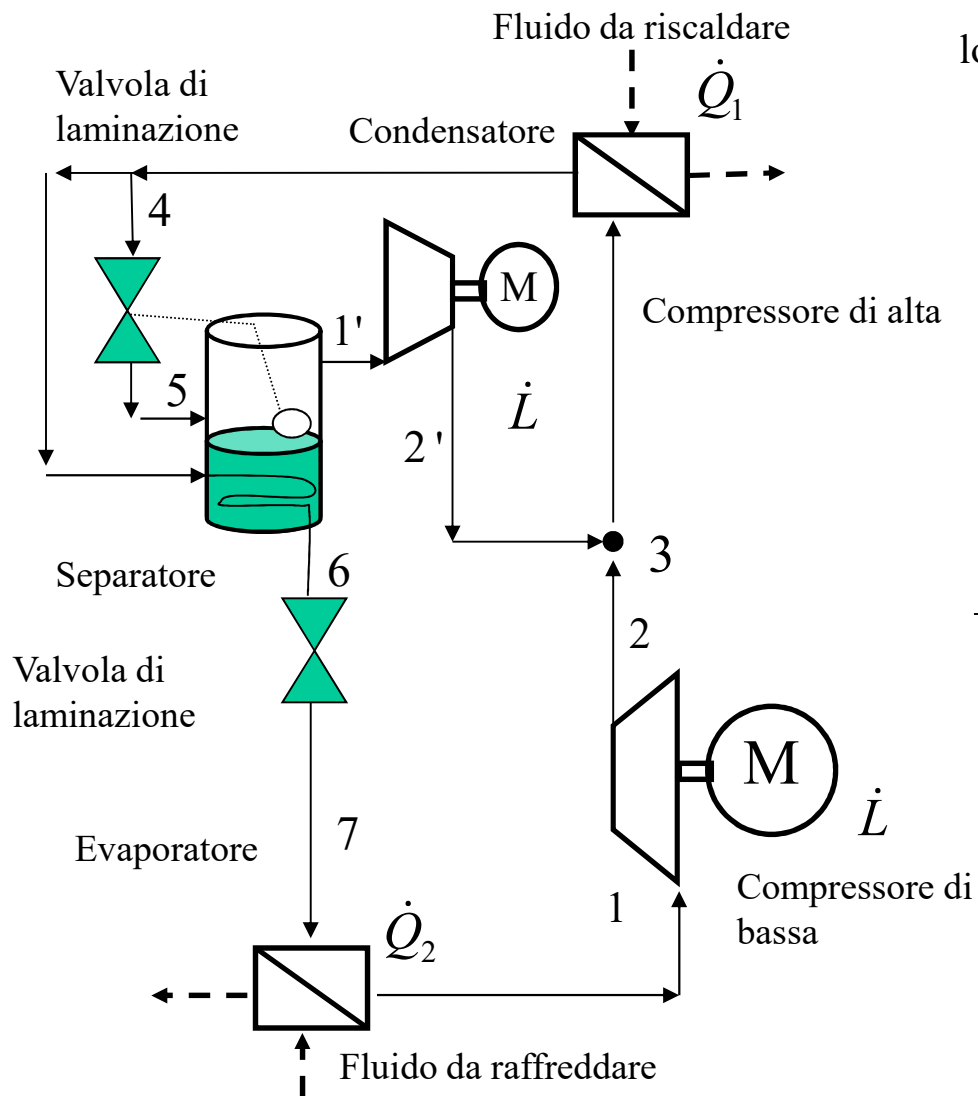
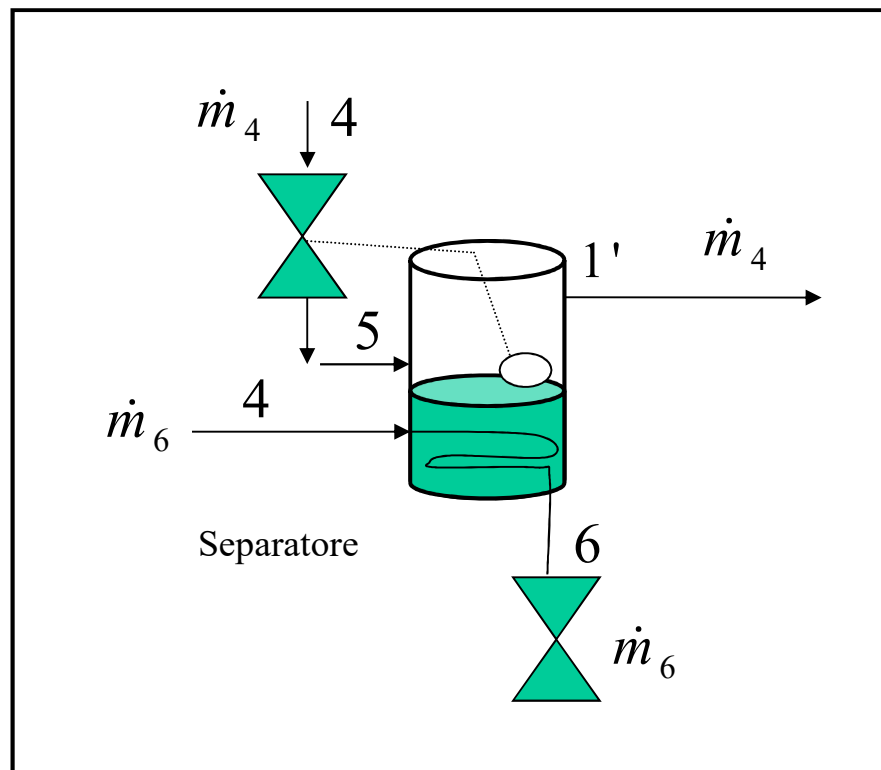


Figura 3.6 - Sottoraffreddamento del liquido con scambiatore a fascio tubolare esterno, con evaporazione del refrigerante regolata con valvola di espansione.

## ESPANSIONE FRAZIONATA – 2° modalità

- Bilancio di energia al separatore

$$\dot{m}_4 (h_{1'} - h_5) = \dot{m}_6 (h_4 - h_6)$$



## ANALISI ENERGETICA BISTADIO – ESP. FRAZIONATA -2° modalità

- Potenza termica scambiata al condensatore

$$\dot{Q}_1 = (\dot{m}_4 + \dot{m}_6)(h_4 - h_3)$$

- Potenza termica scambiata all'evaporatore

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_6(h_1 - h_7)$$

- Potenza meccanica fornita ai compressori

$$|\dot{L}| = \dot{m}_4(h_{2'} - h_{1'}) + \dot{m}_6(h_2 - h_1)$$

- Relazioni valide alle valvole di laminazione

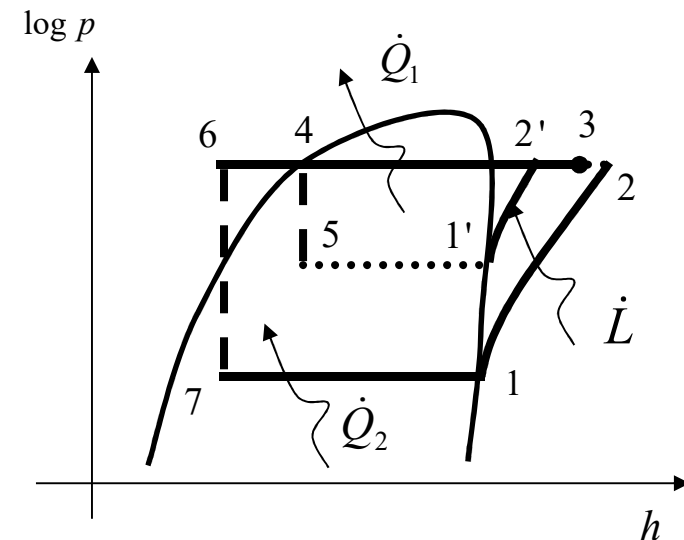
$$h_4 = h_5 \quad h_6 = h_7$$

- Coefficiente di prestazione frigorifera ( $\varepsilon$ )

$$COP_F = \varepsilon = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{L}} = \frac{\dot{m}_6(h_1 - h_7)}{\dot{m}_4(h_{2'} - h_{1'}) + \dot{m}_6(h_2 - h_1)}$$

- Bilancio di energia al separatore

$$\dot{m}_4(h_{1'} - h_5) = \dot{m}_6(h_4 - h_6)$$



## ANALISI ENERGETICA BISTADIO – ESP. FRAZIONATA

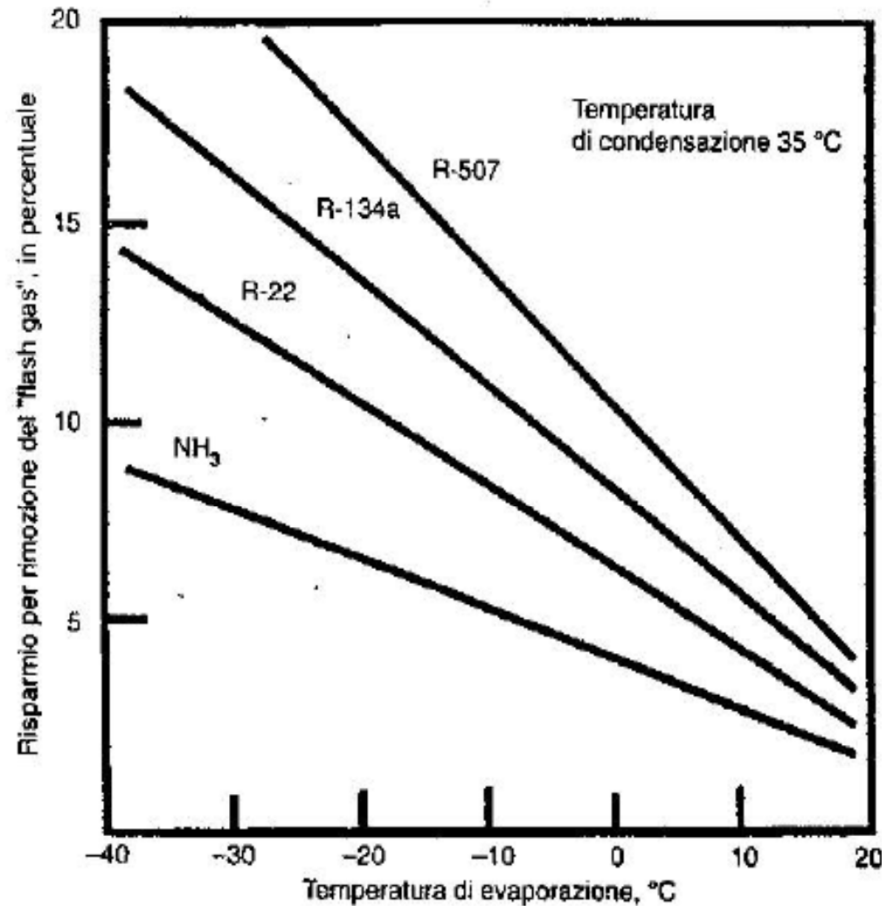


Figura 3.4 – Risparmio in percentuale di potenza totale del compressore dovuto alla rimozione del "flash gas" alla temperatura intermedia ottimale, per diversi refrigeranti.

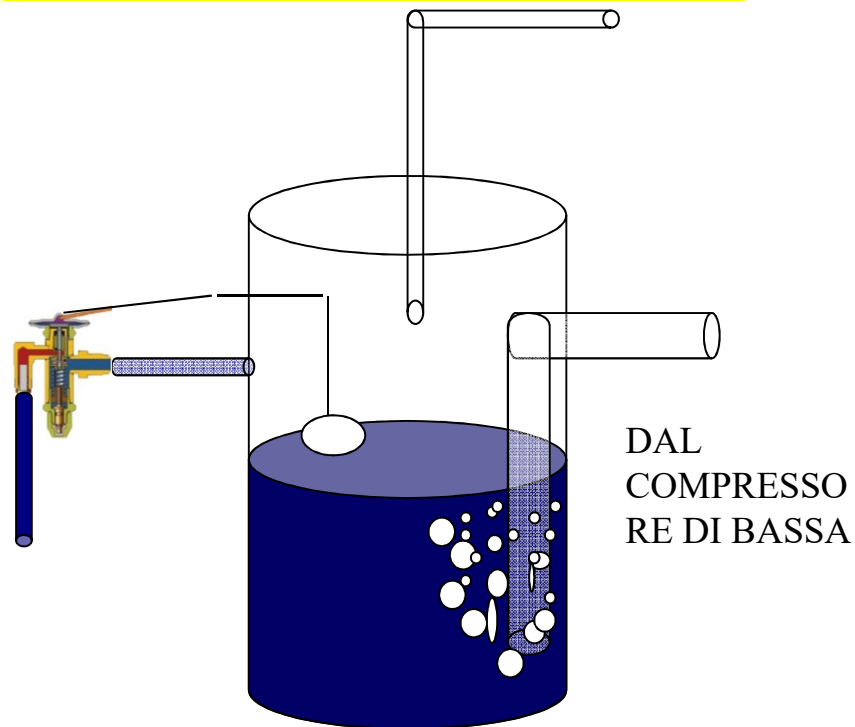


# CICLI BISTADIO – MODALITA' DI INTERREFRIGERAZIONE

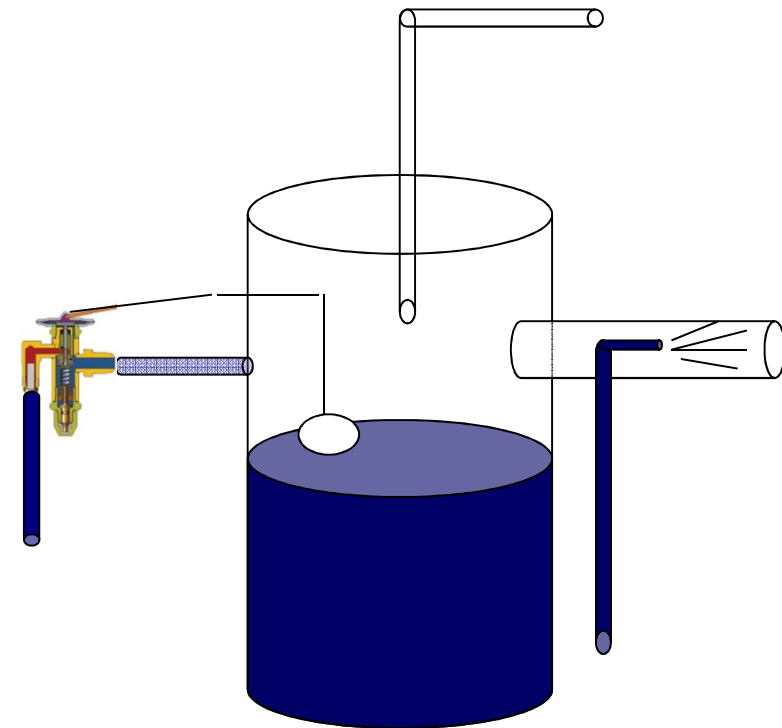
Possibilità di attingere ad un serbatoio di energia esterno. Scambiatore sulla linea di mandata del compressore di bassa pressione

oppure

- 1° modalità di interrefrigerazione:  
Insufflaggio al separatore

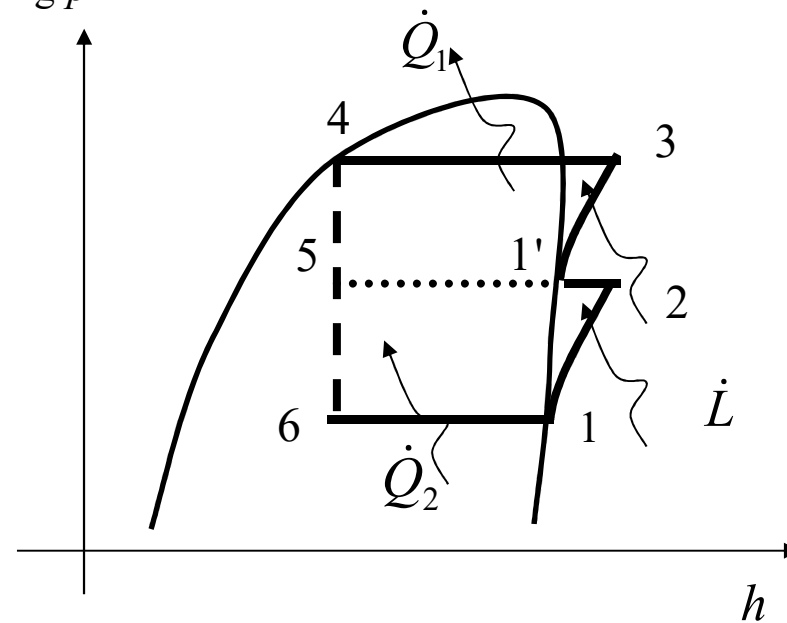
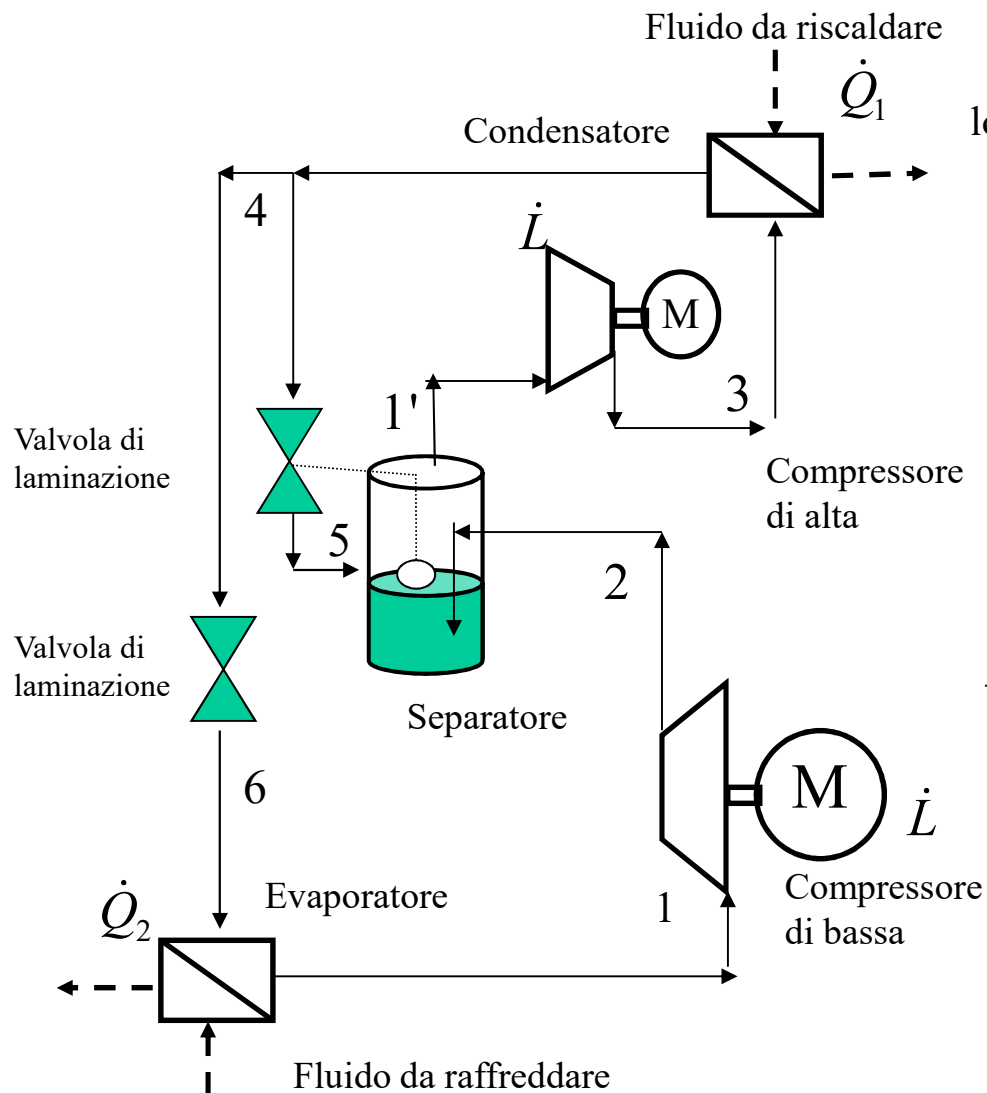


- 2° modalità di interrefrigerazione:  
Iniezione di liquido



# CICLO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

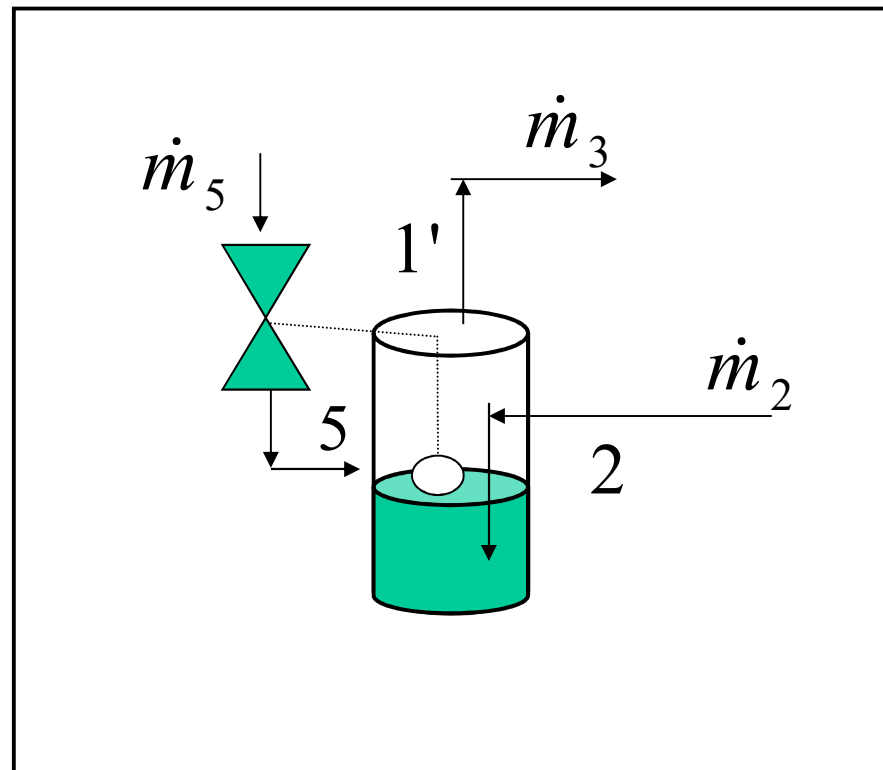
•COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA – 1° modalità



## COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA – 1° modalità

- Bilanci di massa e di energia al separatore

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$



# ANALISI ENERGETICA BISTADIO – COMPR. INTERREFRIGERATA

- Potenza termica scambiata al condensatore

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$$

- Potenza termica scambiata all'evaporatore

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 (h_1 - h_6)$$

- Potenza meccanica fornita ai compressori

$$|\dot{L}| = \dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})$$

- Relazioni valide alle valvole di laminazione

$$h_4 = h_5 = h_6$$

- Coefficiente di prestazione frigorifera ( $\varepsilon$ )

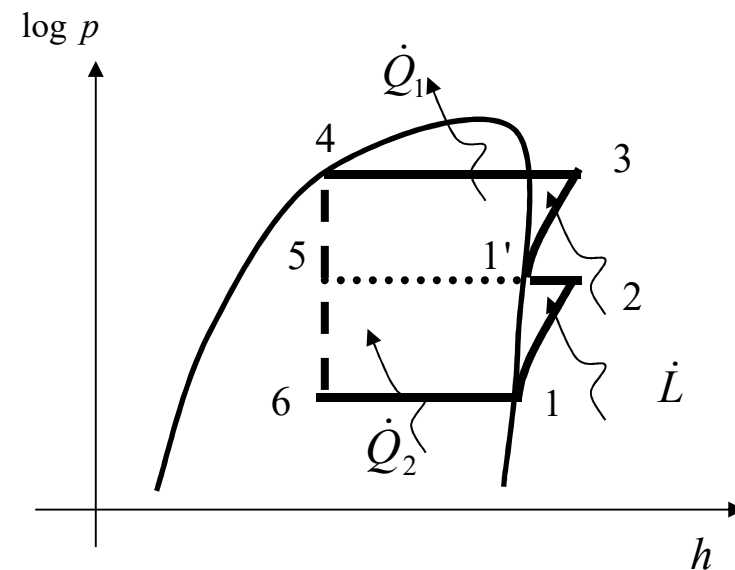
$$COP_F = \varepsilon = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{L}} = \frac{\dot{m}_2 (h_1 - h_6)}{\dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})}$$

- Bilancio di massa al separatore

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

- Bilancio di energia al separatore

$$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$



## COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA

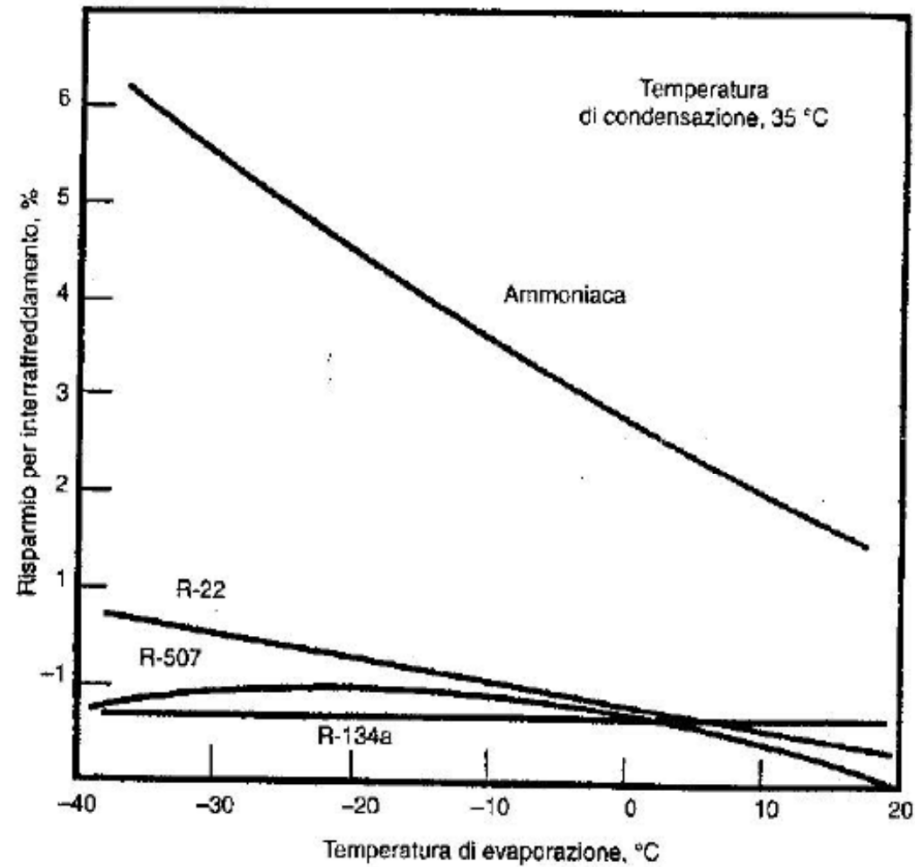
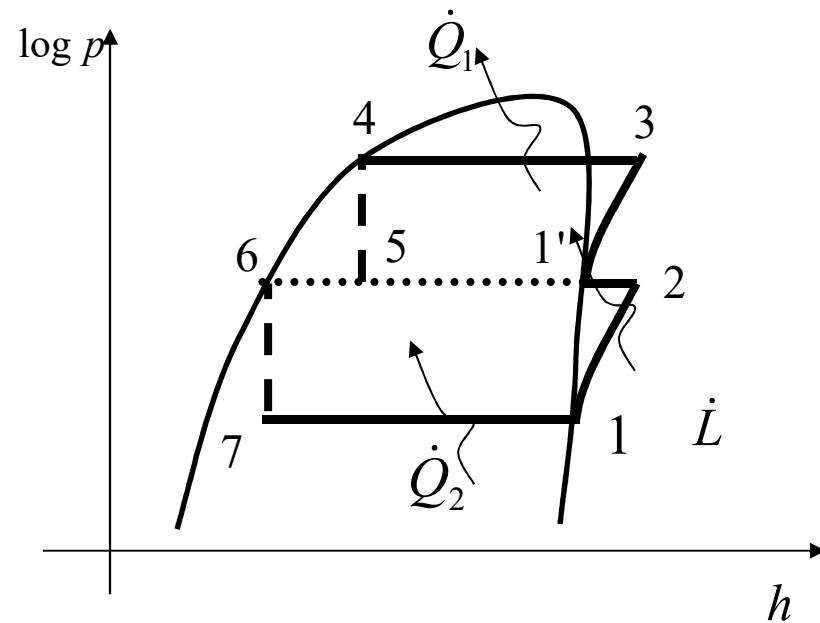
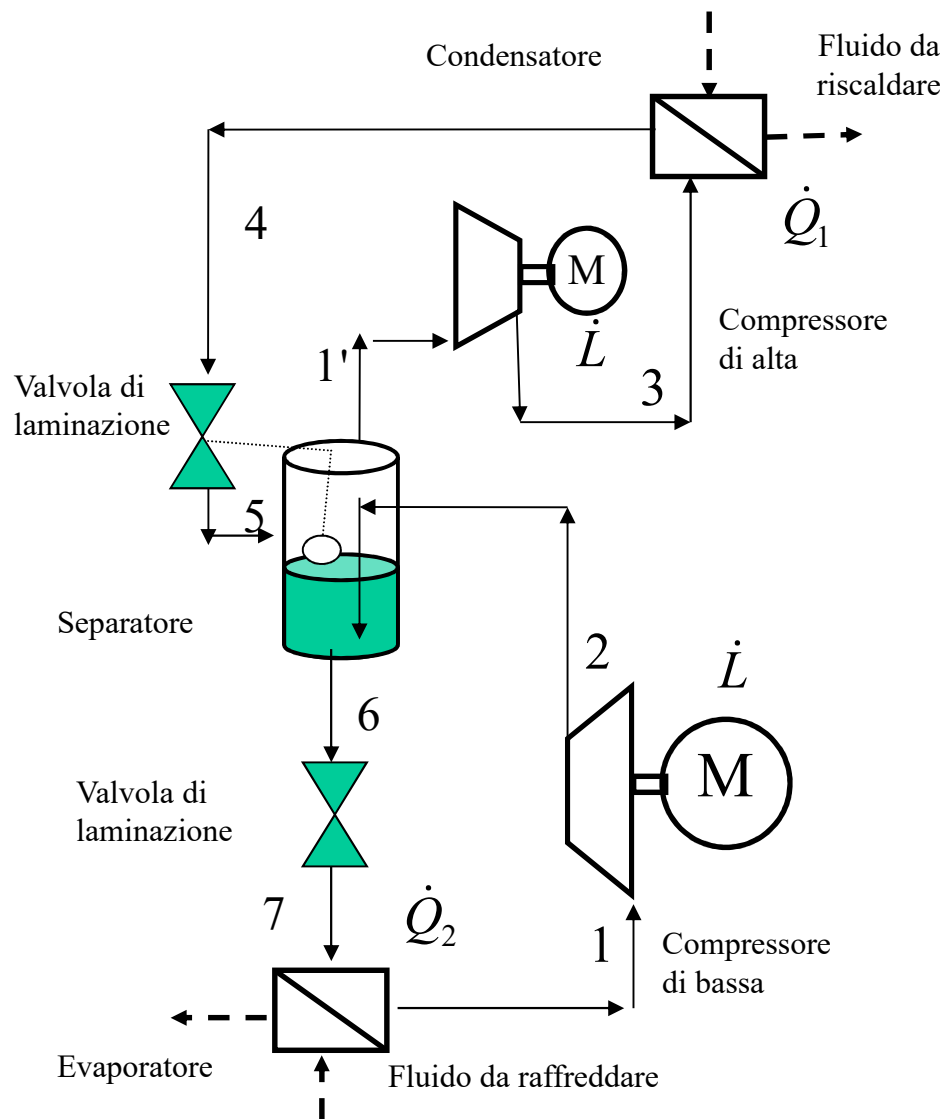


Figura 3.12 – Risparmio in percentuale della potenza totale del compressore dovuto all'interrefreddamento a temperatura intermedia ottimale.

# CICLO COMPLETO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

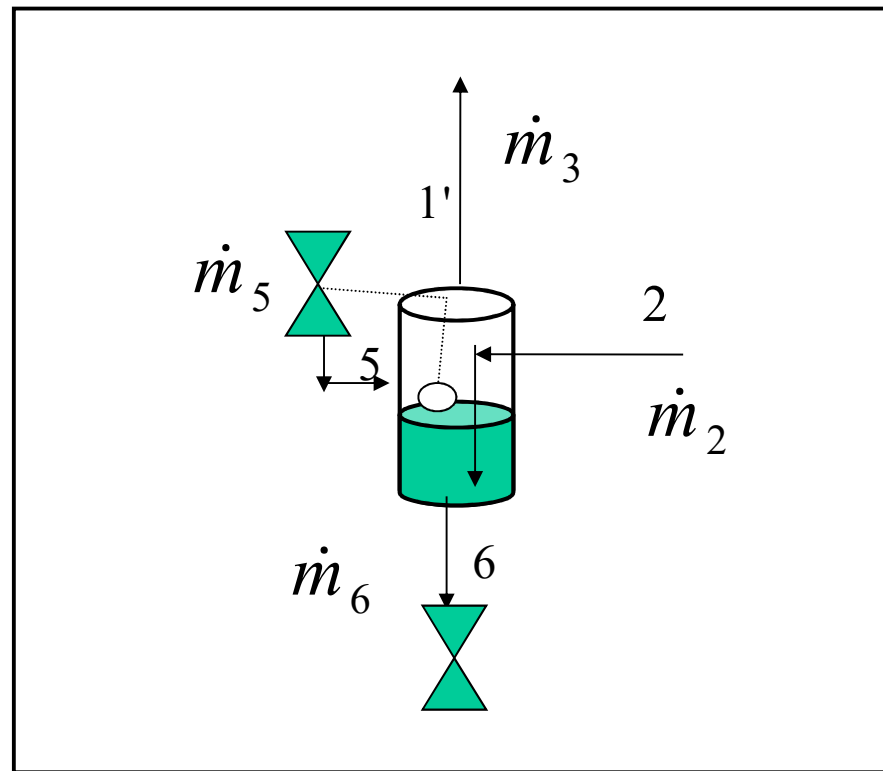
•RIMOZIONE FLASH GAS E COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA



## RIMOZIONE FLASH GAS E COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA

- Bilanci di massa e di energia al separatore

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_3; \quad \dot{m}_6 = \dot{m}_2 \quad \dot{m}_3 (h_5 - h_{1'}) = \dot{m}_2 (h_6 - h_2)$$



## ANALISI ENERGETICA BISTADIO – COMPR. INTERREFRIGERATA

- Potenza termica scambiata al condensatore

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$$

- Potenza termica scambiata all'evaporatore

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 (h_1 - h_7)$$

- Potenza meccanica fornita ai compressori

$$|\dot{L}| = \dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})$$

- Relazioni valide alle valvole di laminazione

$$h_4 = h_5 \quad h_6 = h_7$$

- Coefficiente di prestazione frigorifera ( $\varepsilon$ )

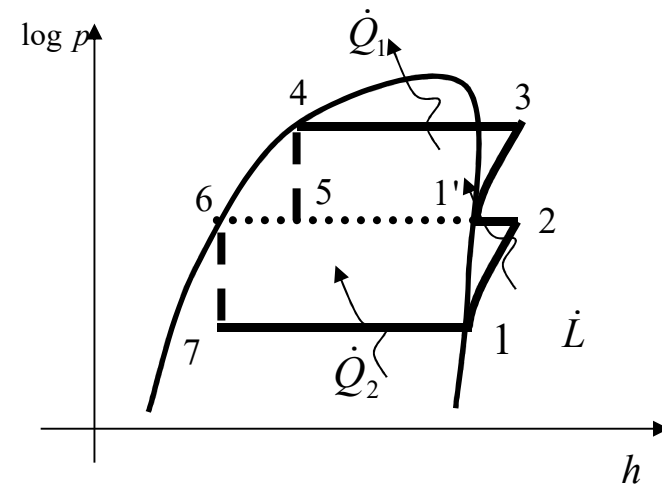
$$COP_F = \varepsilon = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{L}} = \frac{\dot{m}_2 (h_1 - h_7)}{\dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})}$$

- Bilancio di massa al separatore

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_3; \dot{m}_6 = \dot{m}_2$$

- Bilancio di energia al separatore

$$\dot{m}_3 (h_5 - h_{1'}) = \dot{m}_2 (h_6 - h_2)$$





# ANALISI ENERGETICA BISTADIO – COMPR. INTERREFRIGERATA INIEZIONE DI REFRIGERANTE SOTTO FORMA DI VAPORE

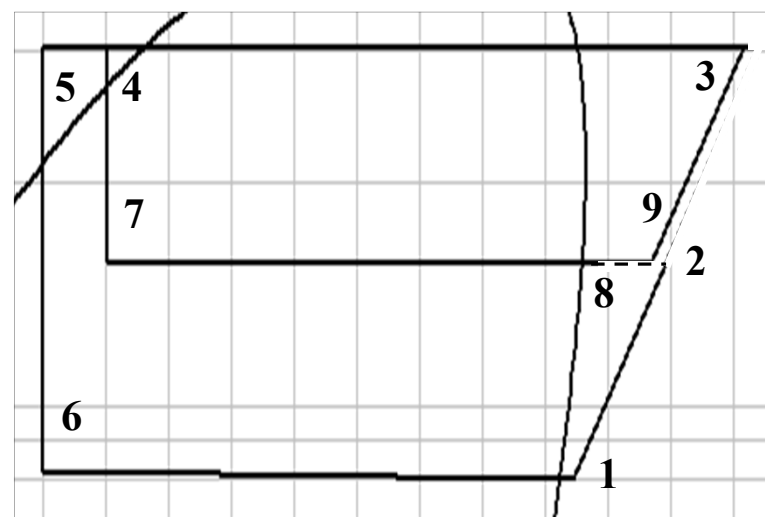
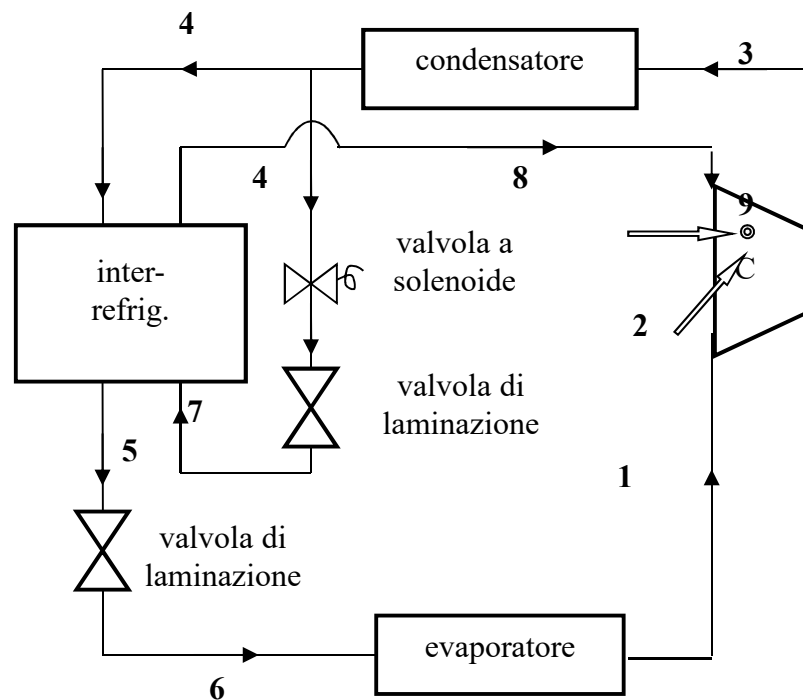
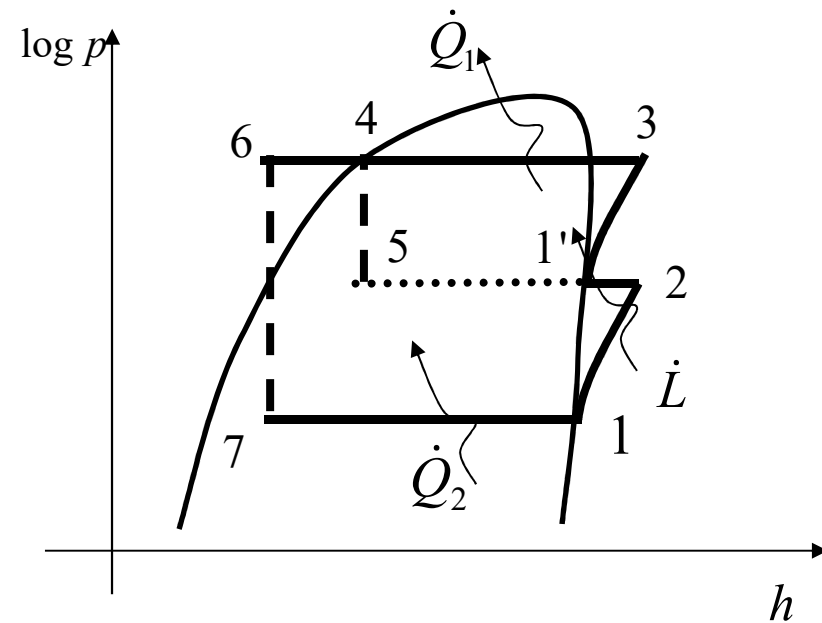
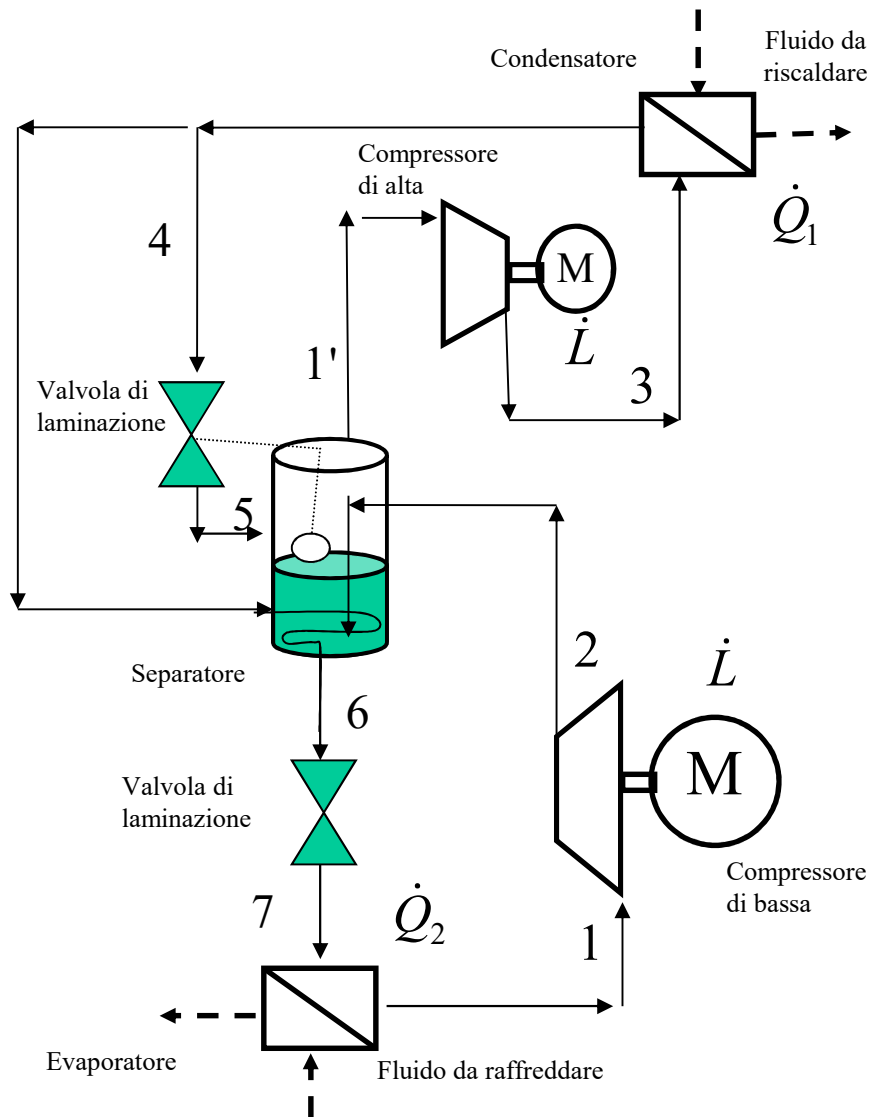


Fig. 8: Ciclo interrefrigerato.

# CICLO COMPLETO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

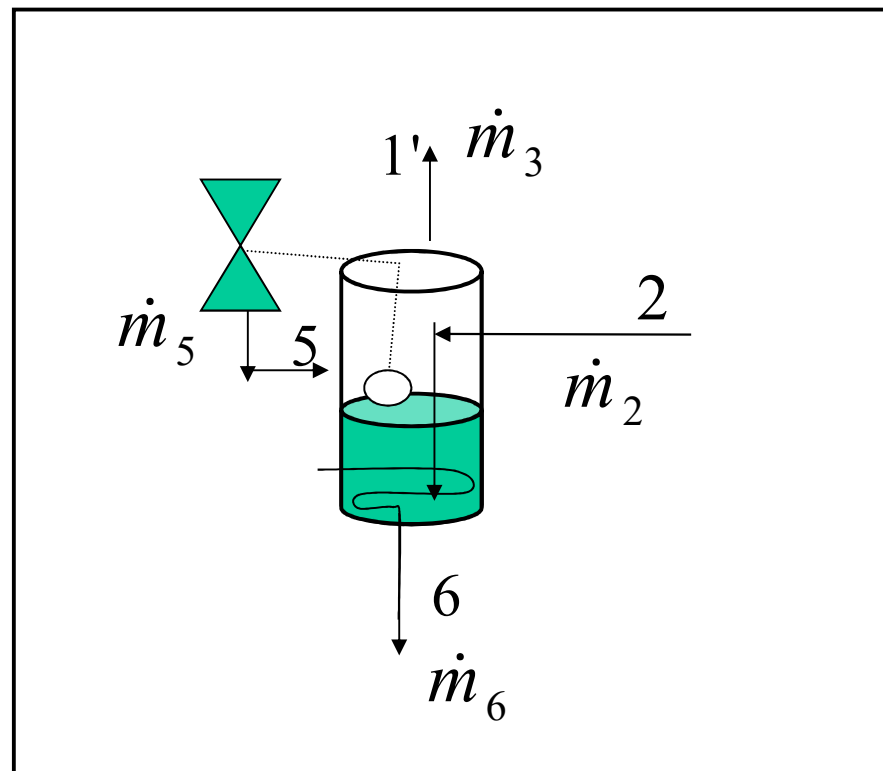
•RIMOZIONE FLASH GAS E COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA



## RIMOZIONE FLASH GAS E COMPRESSIONE INTERREFRIGERATA

• Bilanci di massa e di energia al separatore

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_2 (h_4 - h_6) = \dot{m}_3 h_{1'}$$



## CICLO COMPLETO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

- Potenza termica scambiata al condensatore

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$$

- Potenza termica scambiata all'evaporatore

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 (h_1 - h_7)$$

- Potenza meccanica fornita ai compressori

$$|\dot{L}| = \dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})$$

- Relazioni valide alle valvole di laminazione

$$h_4 = h_5 \quad h_6 = h_7$$

- Coefficiente di prestazione frigorifera ( $\varepsilon$ )

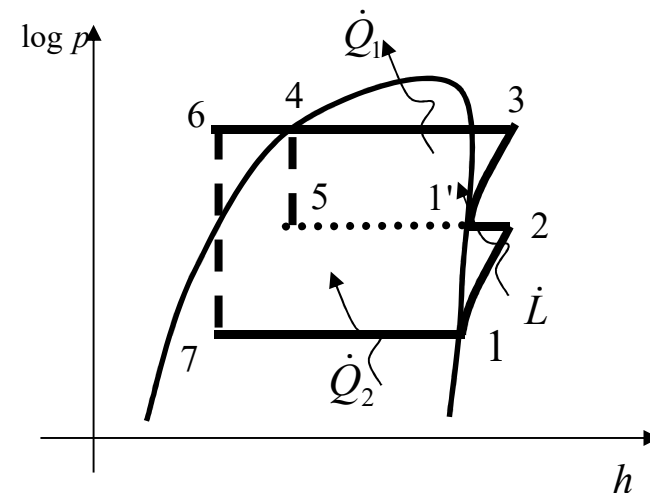
$$COP_F = \varepsilon = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{L}} = \frac{\dot{m}_2 (h_1 - h_7)}{\dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})}$$

- Bilancio di massa al separatore

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

- Bilancio di energia al separatore

$$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_2 (h_4 - h_6) = \dot{m}_3 h_{1'}$$



## CICLO COMPLETO INVERSO A COMPRESSIONE DI VAPORE BISTADIO

### Pressione intermedia ottimale

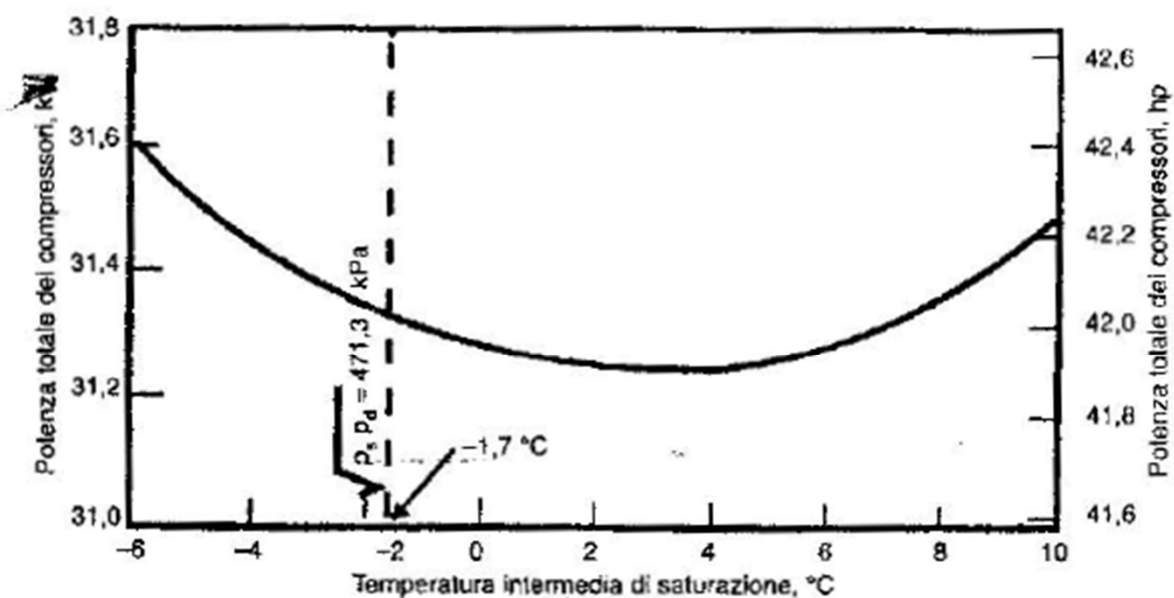


Figura 3.18 – Potenza totale assorbita in un impianto a doppio stadio a R-22, con capacità frigorifera di 100 kW, in funzione della temperatura intermedia di saturazione e con temperature di evaporazione di  $-30$  °C e di condensazione di  $35$  °C.

## CICLO BISTADIO COMPLETO

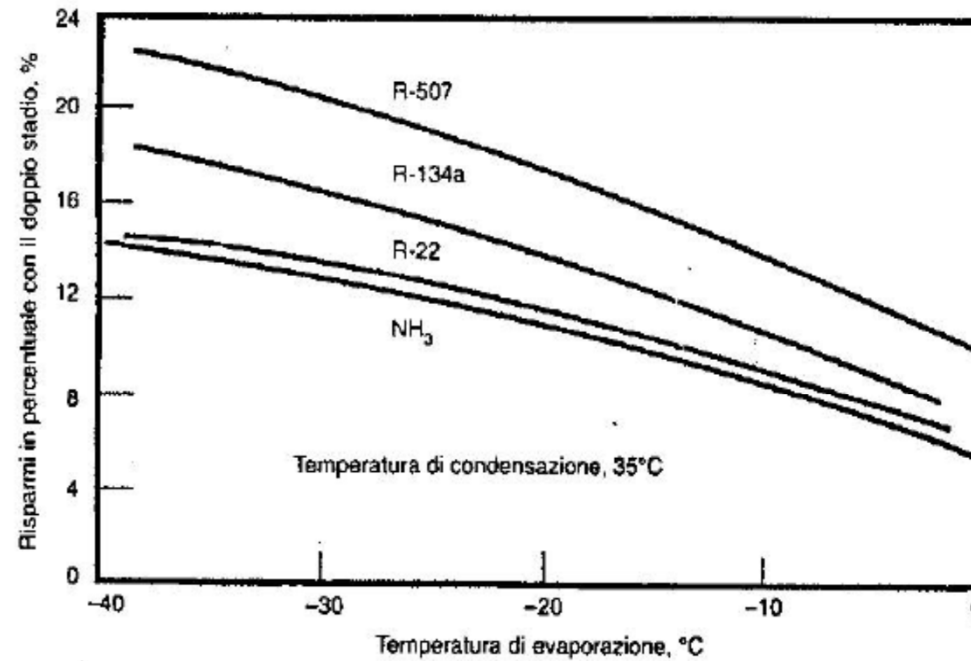


Figura 3.25 – Risparmi in percentuale di assorbimento di potenza nei sistemi a doppio stadio, muniti di rimozione del "flash gas" e di interraffreddamento, in confronto al funzionamento a monostadio (rendimento dei compressori del 100%).

## CICLO “BISTADIO” – ATTACCO LATERALE COMPRESSORE A VITE

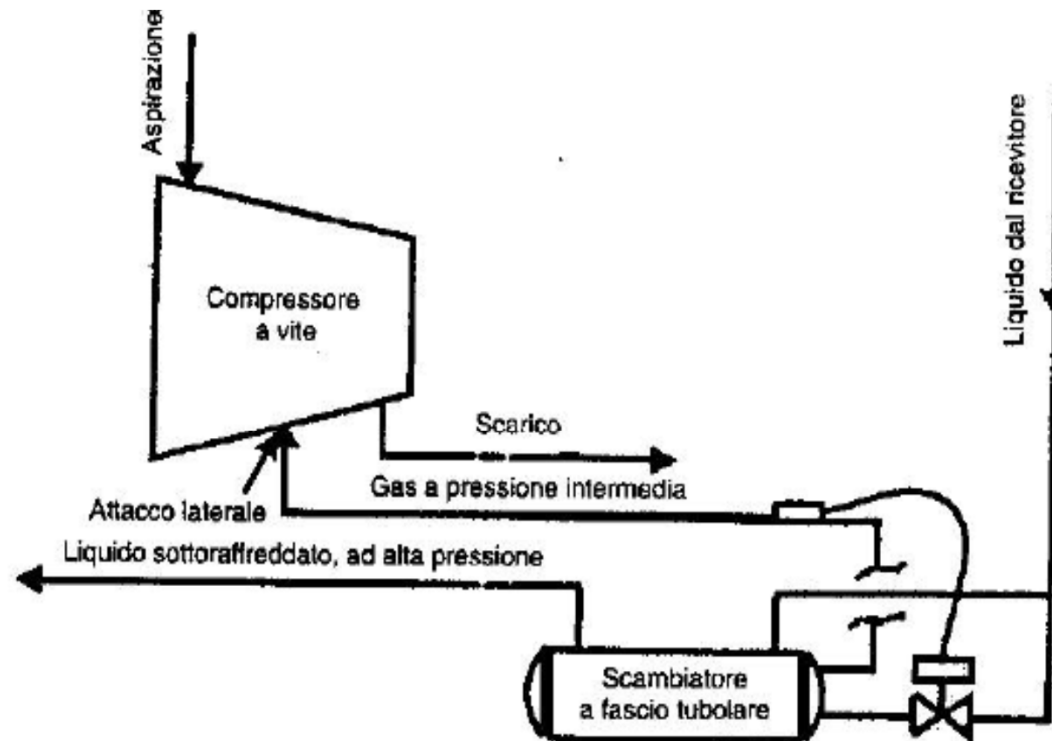
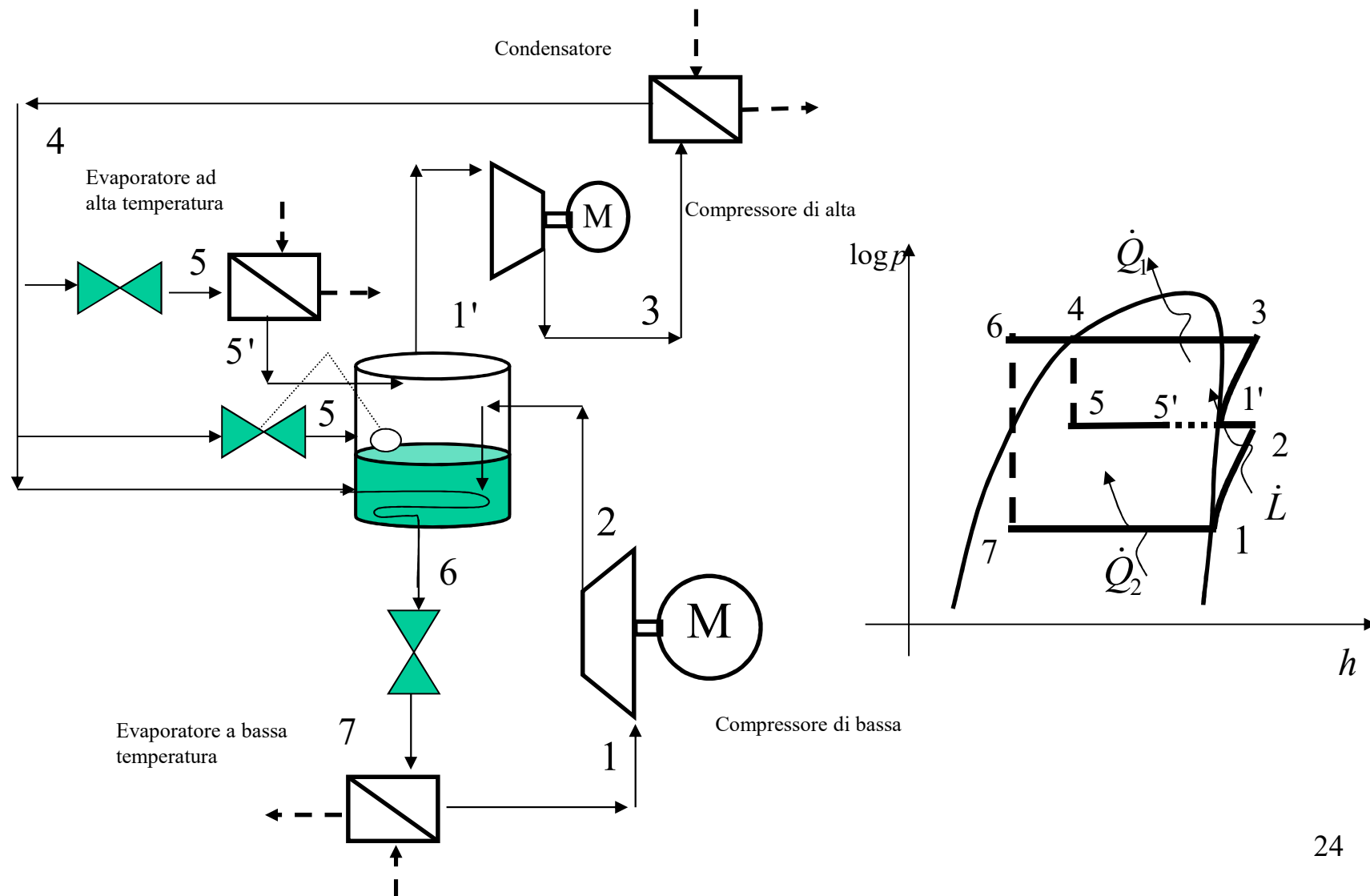


Figura 3.24 – Impiego dell'attacco laterale di un compressore a vite come economizzatore per sottoraffreddare il liquido.

# CICLO COMPLETO BISTADIO A DUE LIVELLI DI TEMPERATURA

•RIMOZIONE FLASH GAS E COMPRESIONE INTERREFRIGERATA

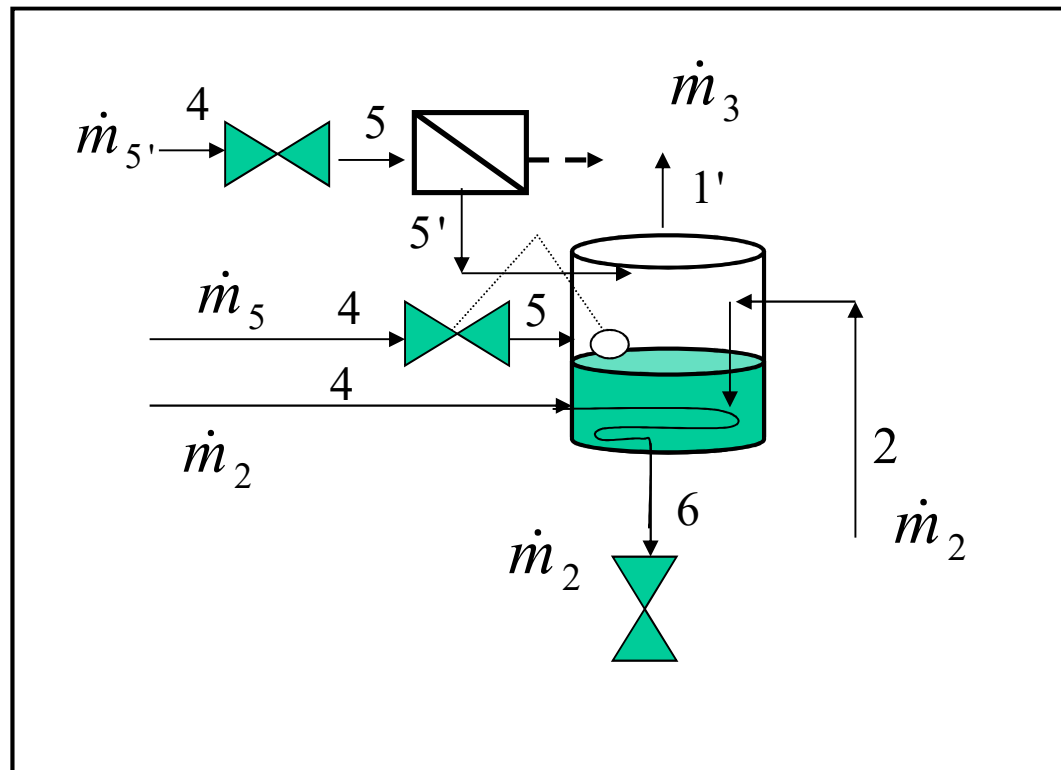




## CICLO COMPLETO BISTADIO A DUE LIVELLI DI TEMPERATURA

• Bilanci di massa e di energia al separatore

$$\dot{m}_{5'} + \dot{m}_5 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{5'} h_{5'} + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_2 (h_4 - h_6) = \dot{m}_3 h_1$$



## ANALISI ENERGETICA BISTADIO – COMPR. INTERREFRIGERATA

- Potenza termica scambiata al condensatore

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$$

- Potenza termica scambiata agli evaporatori

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 (h_1 - h_7) \quad \dot{Q}_{5'} = \dot{m}_{5'} (h_{5'} - h_5)$$

- Potenza meccanica fornita ai compressori

$$|\dot{L}| = \dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})$$

- Relazioni valide alle valvole di laminazione

$$h_4 = h_5 \quad h_6 = h_7$$

- Coefficiente di prestazione frigorifera ( $\varepsilon$ )

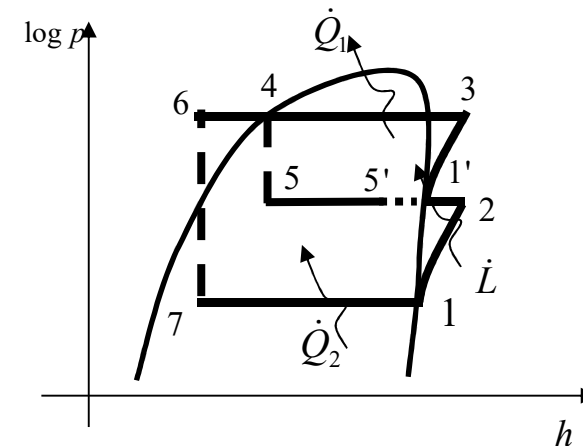
$$COP_F = \varepsilon = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{L}} = \frac{\dot{m}_2 (h_1 - h_7) + \dot{m}_{5'} (h_{5'} - h_5)}{\dot{m}_2 (h_2 - h_1) + \dot{m}_3 (h_3 - h_{1'})}$$

- Bilancio di massa al separatore

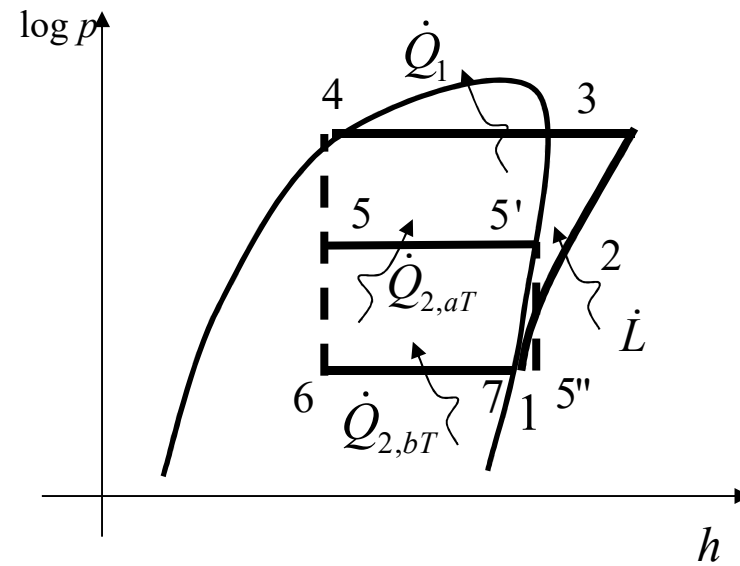
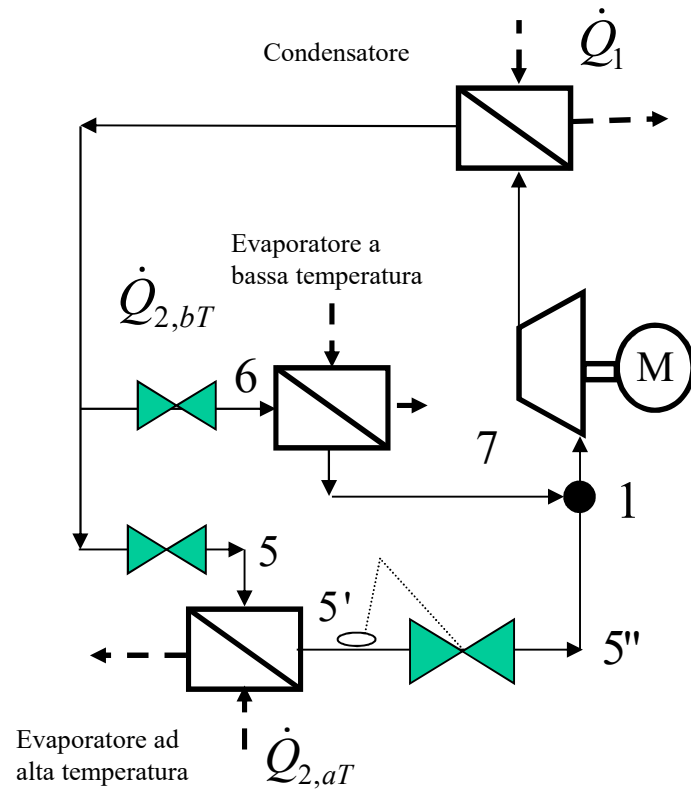
$$\dot{m}_{5'} + \dot{m}_5 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

- Bilancio di energia al separatore

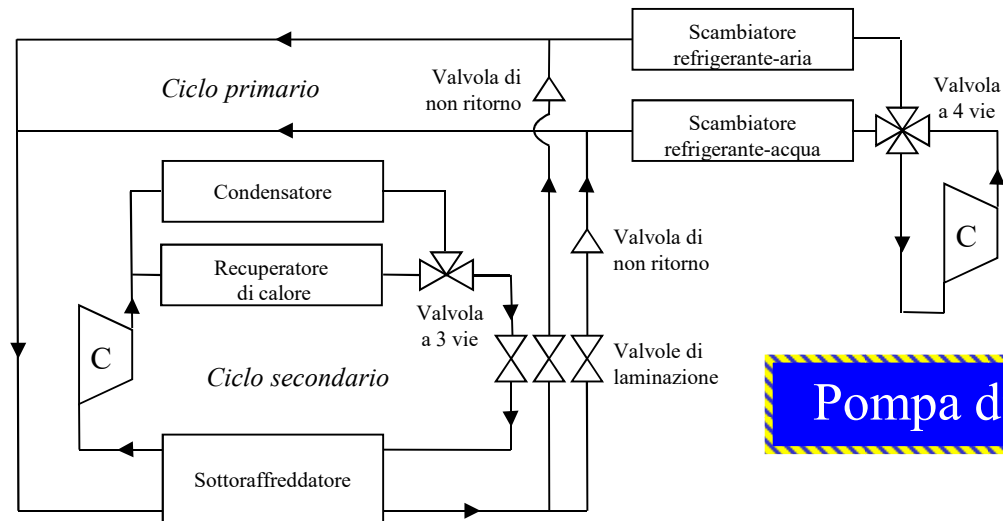
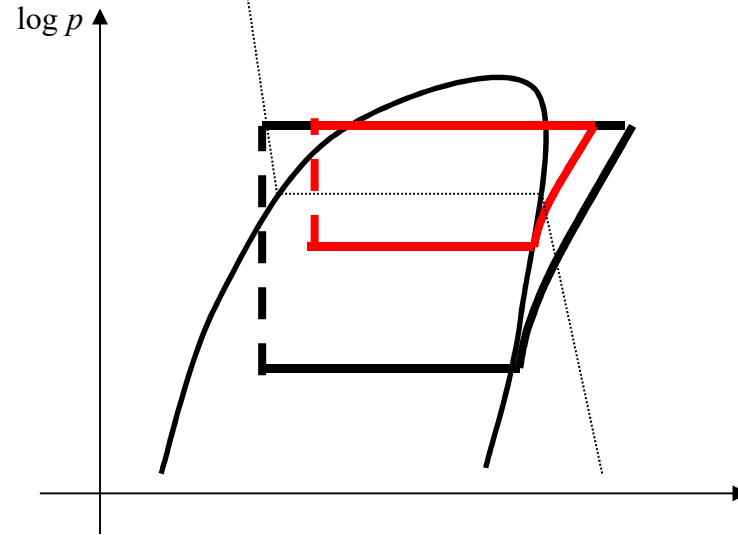
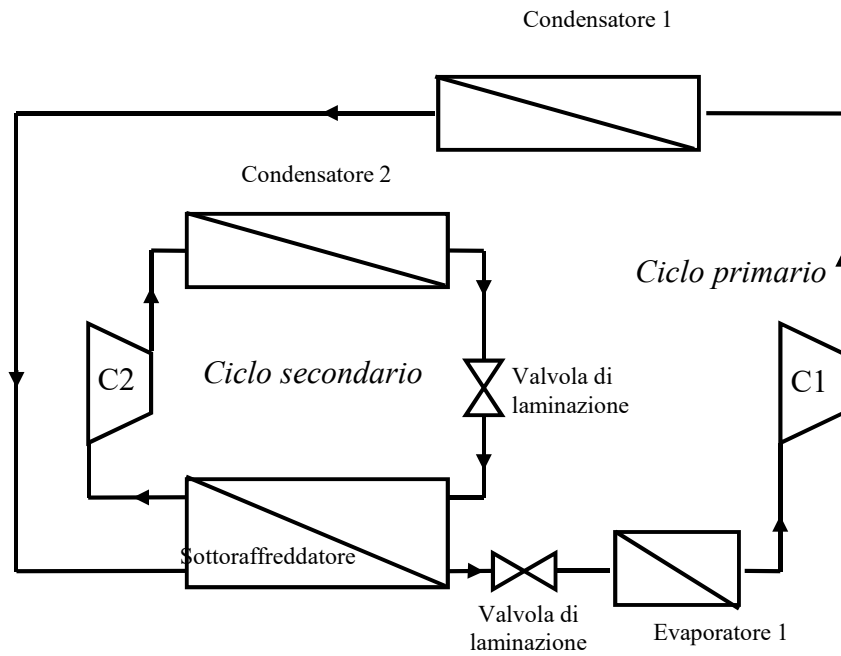
$$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{5'} h_{5'} + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_2 (h_4 - h_6) = \dot{m}_3 h_{1'}$$



# CICLO SEMPLIFICATO MONOSTADIO A DUE LIVELLI DI TEMPERATURA



# Connessione in cascata di due cicli termodinamici.



Pompa di calore. – Ciclo in cascata