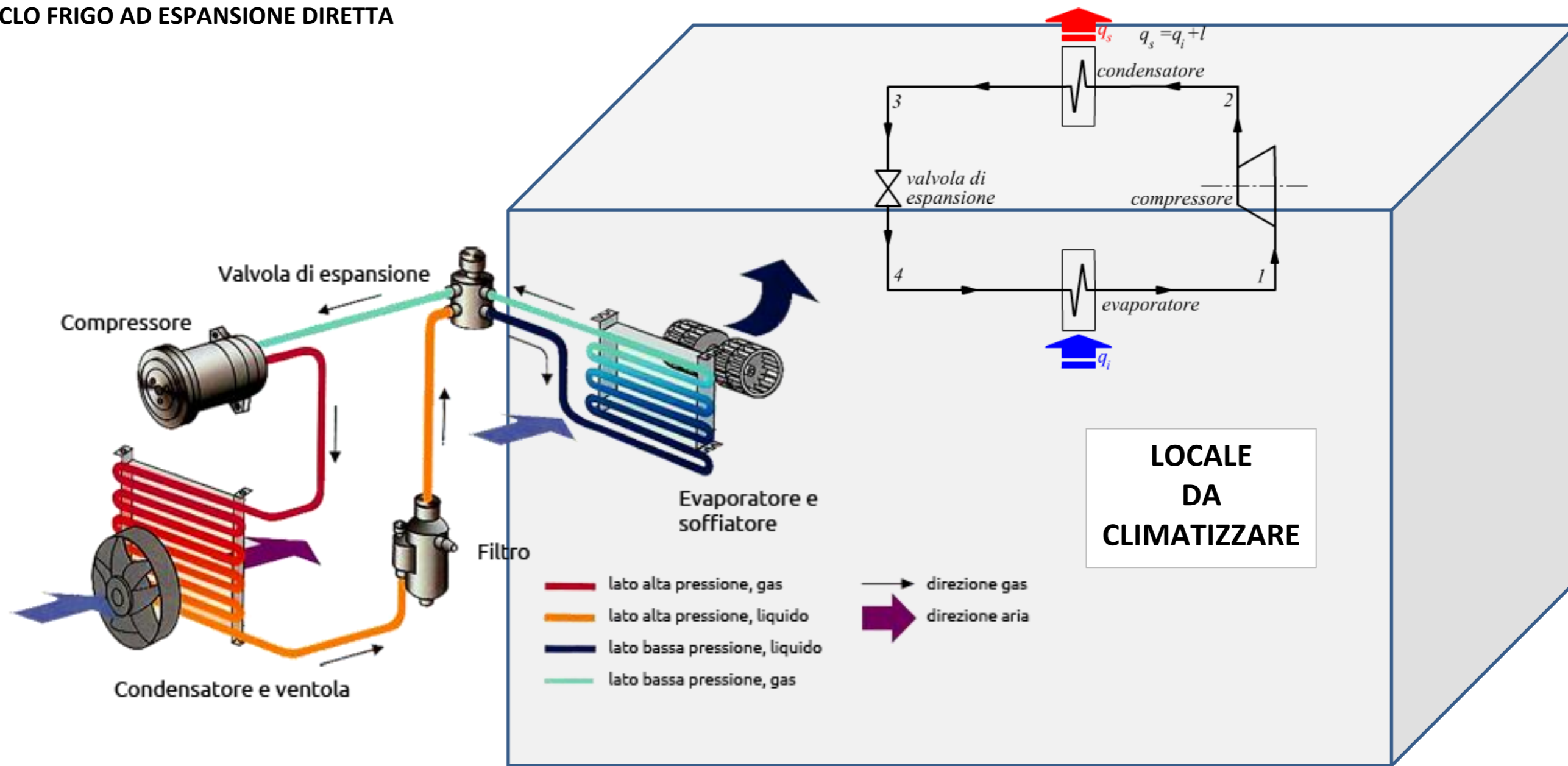
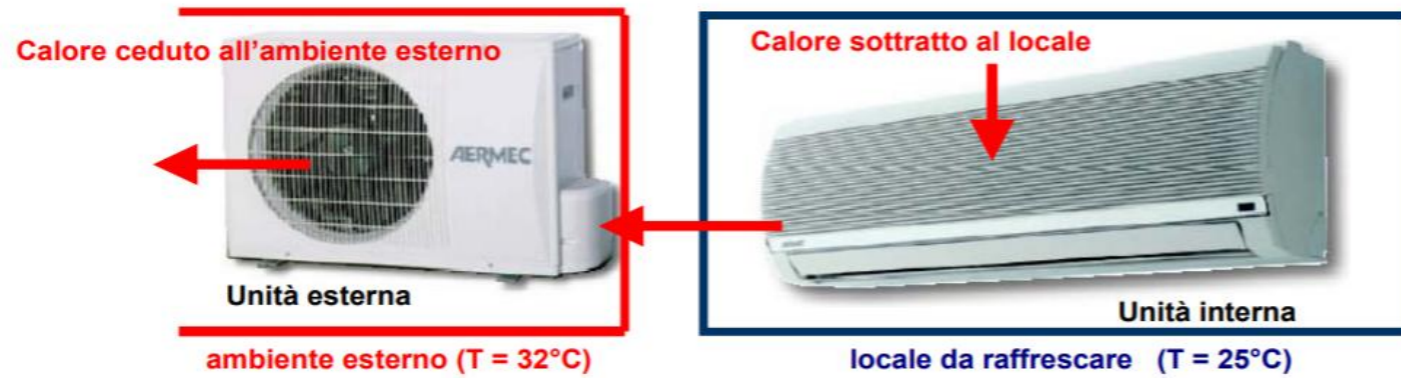


CICLO FRIGO AD ESPANSIONE DIRETTA



ESTATE: $T_s = 42^\circ\text{C}$ e $T_i = 15^\circ$ (Δt di 10°C tra gas frigo e aria)

INVERNO: $T_s = 30^\circ\text{C}$ e $T_i = -5^\circ\text{C}$ (Δt di 10°C tra gas frigo e aria)



Climatizzazione estiva



Climatizzazione invernale (riscaldamento).

CLIMATIZZATORE ESTIVO IDEALE

Potenza 5 Kw potenza da asportare
 Ts 50 °C
 Ti 0 °C

GAS R-410A

| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m ³] |
|-------|----|---------|-----------|------------------------|
| 1 | 0 | 8 | 422 | 30 |
| 2 | 70 | 30 | 458 | 110 |
| 3 | 50 | 30 | 287 | 900 |
| 4 | 0 | 8 | 287 | |

Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

ls 36 kJ/kg
 qi 135 kJ/kg
 qs 171 kJ/kg
 err 3,75
 cop 4,75

Portata refrigerante

m 0,0370 kg/s
 V1 0,0012 m³/s

Potenza assorbita dalla macchina

η compr 0,92
 Pot. C 1,45 Kw

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

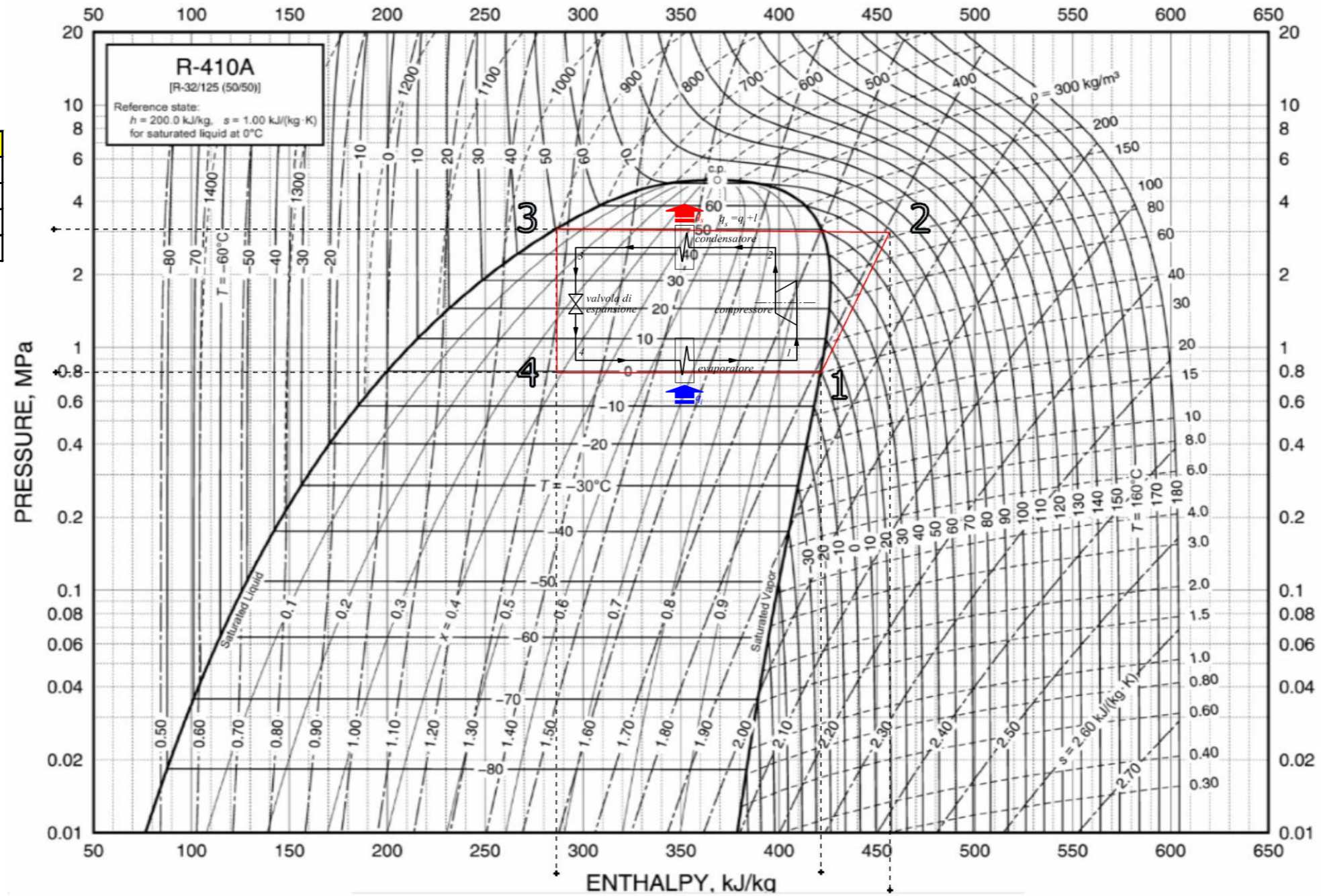
v1 3,8 m/s
 ρ1 30 kg/m³
 V1 0,001235 m³/s
 d1 20,3 mm

Linea del liquido (condensatore--> valvola)

v3 1,5 m/s
 ρ3 900 kg/m³
 V3 0,000041 m³/s
 d3 5,9 mm

Linea di scarico (compressore-->condensatore)

v2 15 m/s
 ρ2 110 kg/m³
 V2 0,000337 m³/s
 d2 5,3 mm



DIMENSIONAMENTO LINEE FRIGORIFERA

La **linea di aspirazione** è il tratto della tubazione che unisce l'evaporatore all'attacco di aspirazione del compressore.

La velocità suggerita per la linea di aspirazione è pari a 3,8 m/s per i tratti con flusso orizz. che diventa 7,6 m/s quando la linea è vert. e il flusso ascendente.

La **linea di scarico** è il tratto di tubazione che collega il compressore al condensatore.

Una linea frigorifera con sezione insufficiente comporta una elevata velocità del refrigerante e rumorosità durante il funzionamento del compressore.

La velocità pari a 15 m/s garantisce un buon compromesso tra perdite di carico, trascinamento del lubrificante e rumorosità.

La **linea del liquido** si identifica con il tratto di tubazione che collega l'uscita del condensatore all'entrata della valvola termostatica (organo di laminazione).

La velocità suggerita per la linea del liquido è pari a 1,5 m/s (risulta un buon compromesso tra perdite di carico e trascinamento del lubrificante)

La linea che dalla valvola termostatica va all'evaporatore mantiene lo stesso diametro della linea del liquido.

CLIMATIZZATORE ESTIVO IDEALE

Potenza 5 Kw potenza da asportare
 Ts 50 °C
 Ti 0 °C

GAS R-32

| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m ³] |
|-------|----|---------|-----------|------------------------|
| 1 | 0 | 0,8 | 520 | 23 |
| 2 | 86 | 3,2 | 570 | 70 |
| 3 | 50 | 3,2 | 295 | 840 |
| 4 | 0 | 0,8 | 295 | |

Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

ls 50 kJ/kg
 qi 225 kJ/kg
 qs 275 kJ/kg
 err 4,5
 cop 5,5

Portata refrigerante

m 0,0222 kg/s
 V1 0,0010 m³/s

Potenza assorbita dalla macchina

η compr 0,92
 Pot. C 1,21 Kw

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

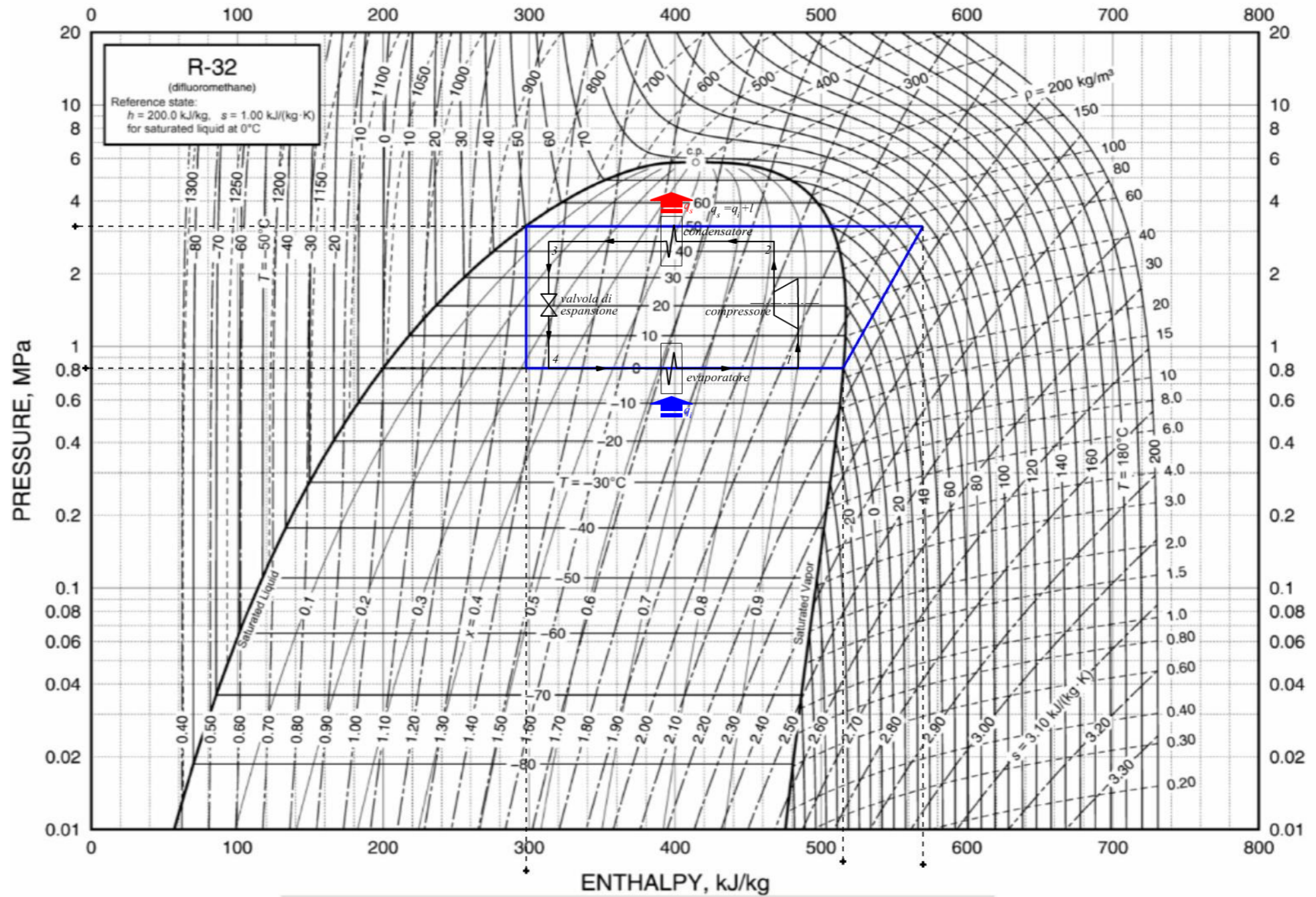
v1 3,8 m/s
 ρ1 23 kg/m³
 V1 0,000966 m³/s
 d1 18,0 mm

Linea del liquido (condensatore--> valvola)

v3 1,5 m/s
 ρ3 840 kg/m³
 V3 0,000026 m³/s
 d3 4,7 mm

Linea di scarico (compressore-->condensatore)

v2 15 m/s
 ρ2 70 kg/m³
 V2 0,000317 m³/s
 d2 5,2 mm



DIMENSIONAMENTO LINEE FRIGORIFERA

La **linea di aspirazione** è il tratto della tubazione che unisce l'evaporatore all'attacco di aspirazione del compressore.

La velocità suggerita per la linea di aspirazione è pari a 3,8 m/s per i tratti con flusso orizzontale che diventa 7,6 m/s quando la linea è verticale e il flusso ascendente.

La **linea di scarico** è il tratto di tubazione che collega il compressore al condensatore.

Una linea frigorifera con sezione insufficiente comporta una elevata velocità del refrigerante e rumorosità durante il funzionamento del compressore.

La velocità pari a 15 m/s garantisce un buon compromesso tra perdite di carico, trascinamento del lubrificante e rumorosità.

La **linea del liquido** si identifica con il tratto di tubazione che collega l'uscita del condensatore all'entrata della valvola termostatica (o, in senso generale, l'organo di laminazione).

La velocità suggerita per la linea del liquido è pari a 1,5 m/s (risulta un buon compromesso tra perdite di carico e trascinamento del lubrificante)

La linea che dalla valvola termostatica va all'evaporatore mantiene lo stesso diametro della linea del liquido.

CLIMATIZZATORE ESTIVO IDEALE

Potenza 5 Kw potenza da asportare
 Ts 50 °C
 Ti 0 °C

GAS R-134A

| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m ³] |
|-------|----|---------|-----------|------------------------|
| 1 | 0 | 0,3 | 395 | 14,5 |
| 2 | 50 | 1,35 | 430 | 61 |
| 3 | 50 | 1,35 | 275 | 1100 |
| 4 | 0 | 0,3 | 275 | |

Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

ls 35 kJ/kg
 qi 120 kJ/kg
 qs 155 kJ/kg
 err 3,428571
 cop 4,428571

Portata refrigerante

m 0,0417 kg/s
 V1 0,0029 m³/s

Potenza assorbita dalla macchina

η compr 0,92
 Pot. C 1,59 Kw

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

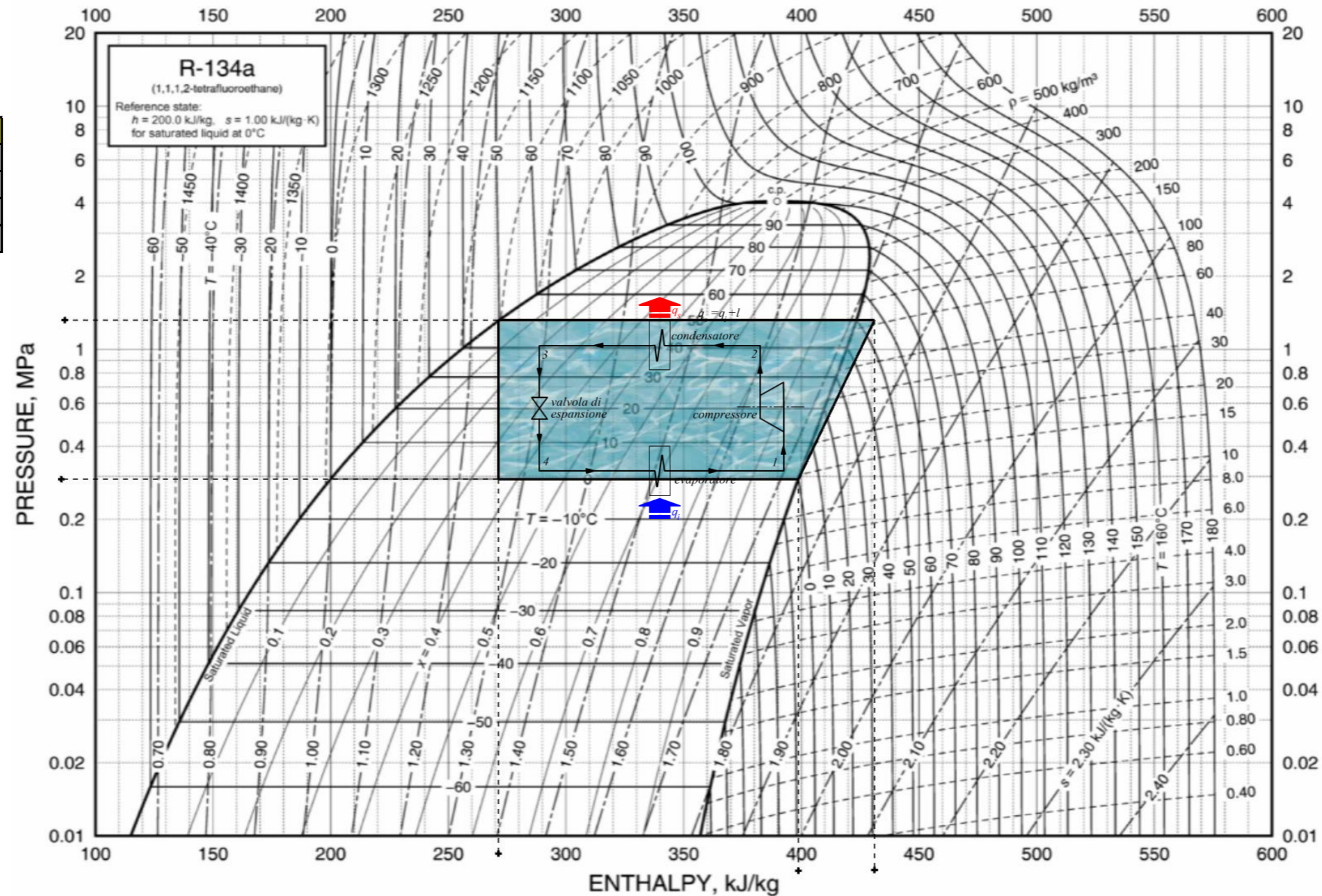
v1 3,8 m/s
 ρ1 14,5 kg/m³
 V1 0,002874 m³/s
 d1 31,0 mm

Linea del liquido (condensatore--> valvola)

v3 1,5 m/s
 ρ3 1100 kg/m³
 V3 0,000038 m³/s
 d3 5,7 mm

Linea di scarico (compressore-->condensatore)

v2 15 m/s
 ρ2 61 kg/m³
 V2 0,000683 m³/s
 d2 7,6 mm



DIMENSIONAMENTO LINEE FRIGORIFERA

La **linea di aspirazione** è il tratto della tubazione che unisce l'evaporatore all'attacco di aspirazione del compressore.

La velocità suggerita per la linea di aspirazione è pari a 3,8 m/s per i tratti con flusso orizzontale che diventa 7,6 m/s quando la linea è verticale e il flusso ascendente.

La **linea di scarico** è il tratto di tubazione che collega il compressore al condensatore.

Una linea frigorifera con sezione insufficiente comporta una elevata velocità del refrigerante e rumorosità durante il funzionamento del compressore.

La velocità pari a 15 m/s garantisce un buon compromesso tra perdite di carico, trascinamento del lubrificante e rumorosità.

La **linea del liquido** si identifica con il tratto di tubazione che collega l'uscita del condensatore all'entrata della valvola termostatica (organo di laminazione).

La velocità suggerita per la linea del liquido è pari a 1,5 m/s (risulta un buon compromesso tra perdite di carico e trascinamento del lubrificante)

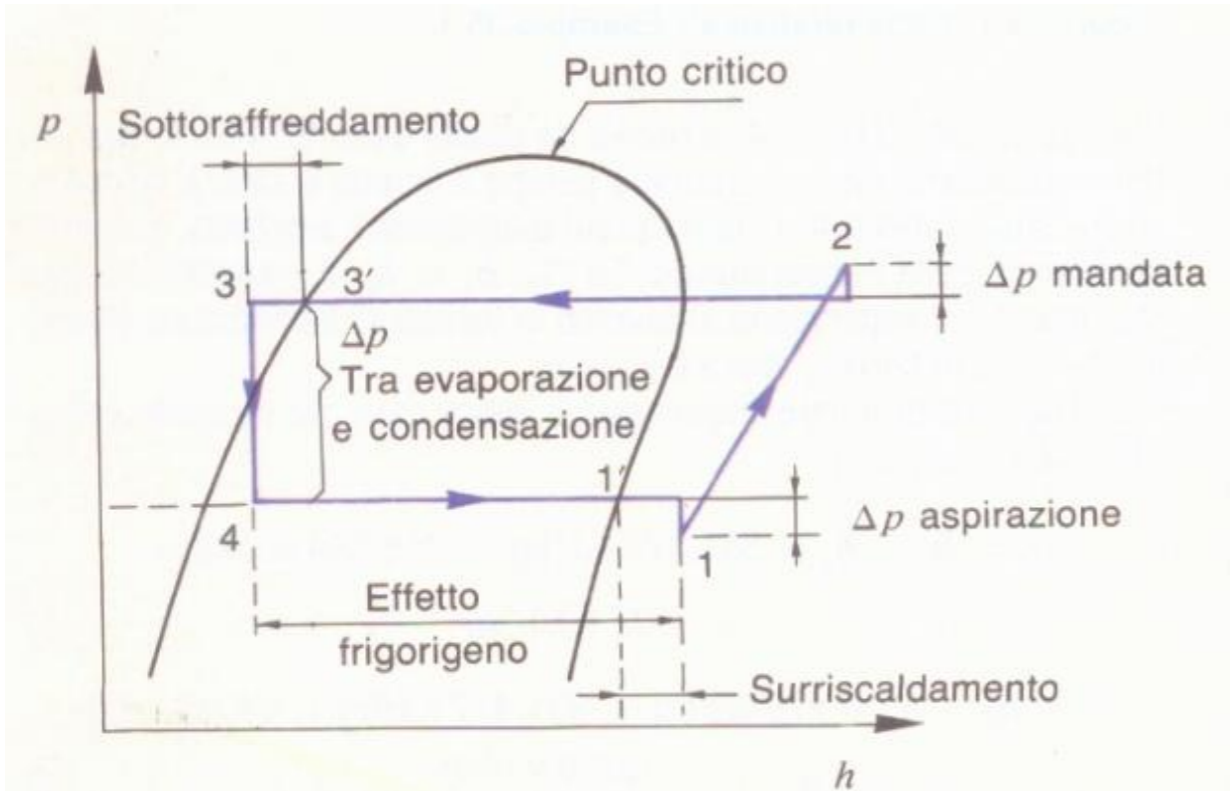
La linea che dalla valvola termostatica va all'evaporatore mantiene lo stesso diametro della linea del liquido.

CONFRONTO GAS FRIGO

Ts 50 °C
Ti 0 °C
Pot. Frigo 5 kW
Giorni 90
Ore 10 ore/giorno
C. elettr. 0,23 €/kWh

| | ERR | m (Kg/s) | Pot. (kW) | C (€/anno) | % |
|--------|------|----------|-----------|------------|----|
| R134-a | 3,42 | 0,0417 | 1,59 | 329,13 | 31 |
| R410-A | 3,75 | 0,037 | 1,45 | 300,15 | 20 |
| R32 | 4,5 | 0,022 | 1,21 | 250,47 | |

CICLO FRIGO REALE



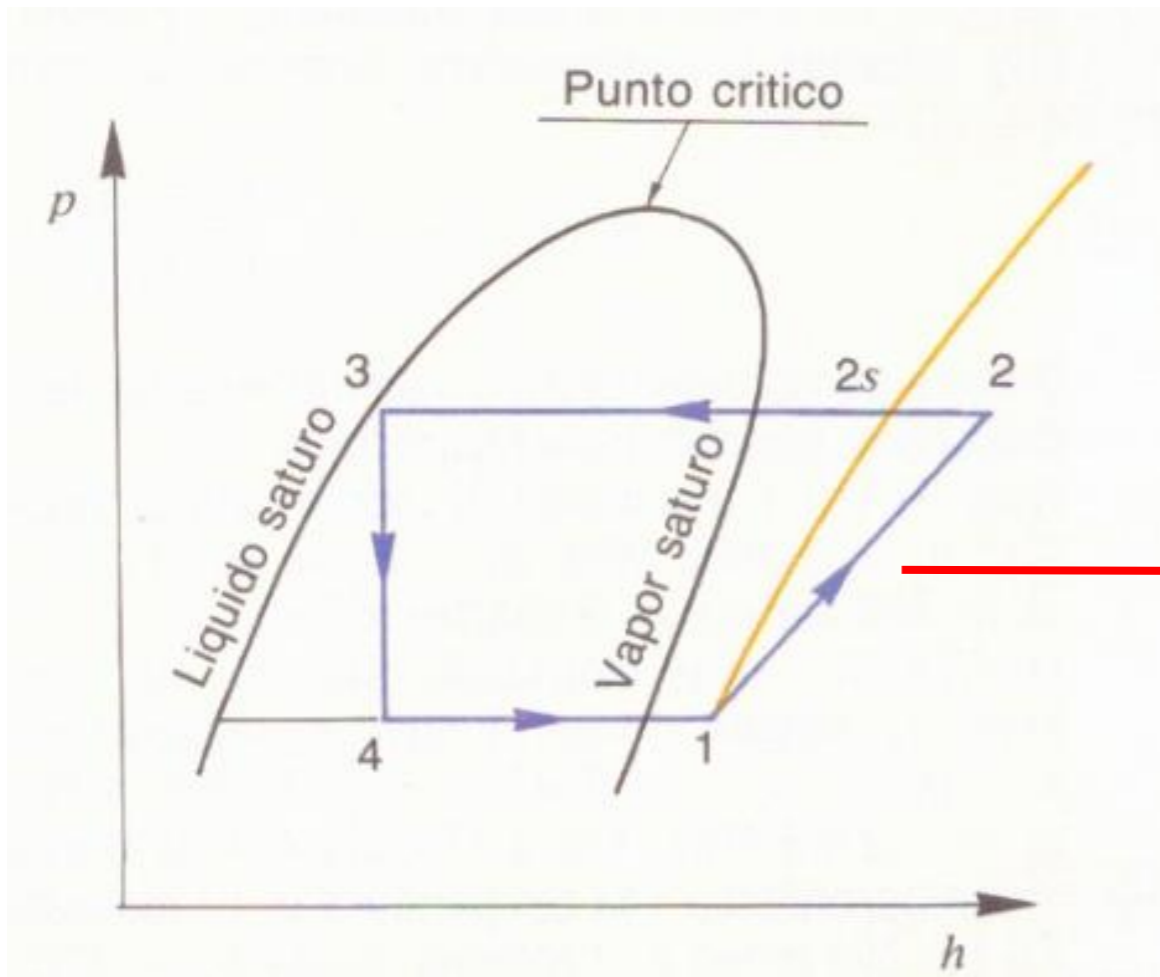
Sottoraffreddamento

Aumenta efficienza del ciclo (maggiore q_i)

Surriscaldamento

Garantisce in ingresso al compressore solo VAPORE.
Il liquido può danneggiare il compressore!

Trascurando le perdite di carico il ciclo diventa



Rendimento del compressore

$$\eta_c = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1)$$

valori tipici rendimento 0,92-0,94

Noto il rendimento si ricava la h₂ reale

$$h_2 = (h_{2s} - h_1) / \eta_c + h_1$$

CELLA FRIGORIFERA CICLO REALE

GAS R410A

| | |
|------------------|--------|
| Potenza cella | 100 kW |
| T cella | -10 °C |
| T ambiente | 20 °C |
| Surriscaldam. | 5 °C |
| Sottoraffred. | 5 °C |
| Rend. Compr. | 0,92 |
| Rend. El. Compr. | 0,95 |



| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m3] |
|-------|-----|---------|-----------|-----------|
| 1 | -15 | 0,4 | 420 | 15 |
| 2s | 60 | 1,9 | 470 | 60 |
| 2 | 64 | 1,9 | 474,35 | 60 |
| 3 | 25 | 1,9 | 240 | 1060 |
| 4 | -20 | 0,4 | 240 | |

Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

| | |
|--------|--------------|
| ls | 50 kJ/kg |
| h2 | 474,35 kJ/kg |
| lreale | 54,35 kJ/kg |
| qi | 180 kJ/kg |
| qs | 230 kJ/kg |
| err | 3,31 |
| cop | 4,23 |

Portata refrigerante

| | |
|----|-------------|
| m | 0,5556 kg/s |
| V1 | 0,0370 m3/s |

Potenza assorbita dalla macchina

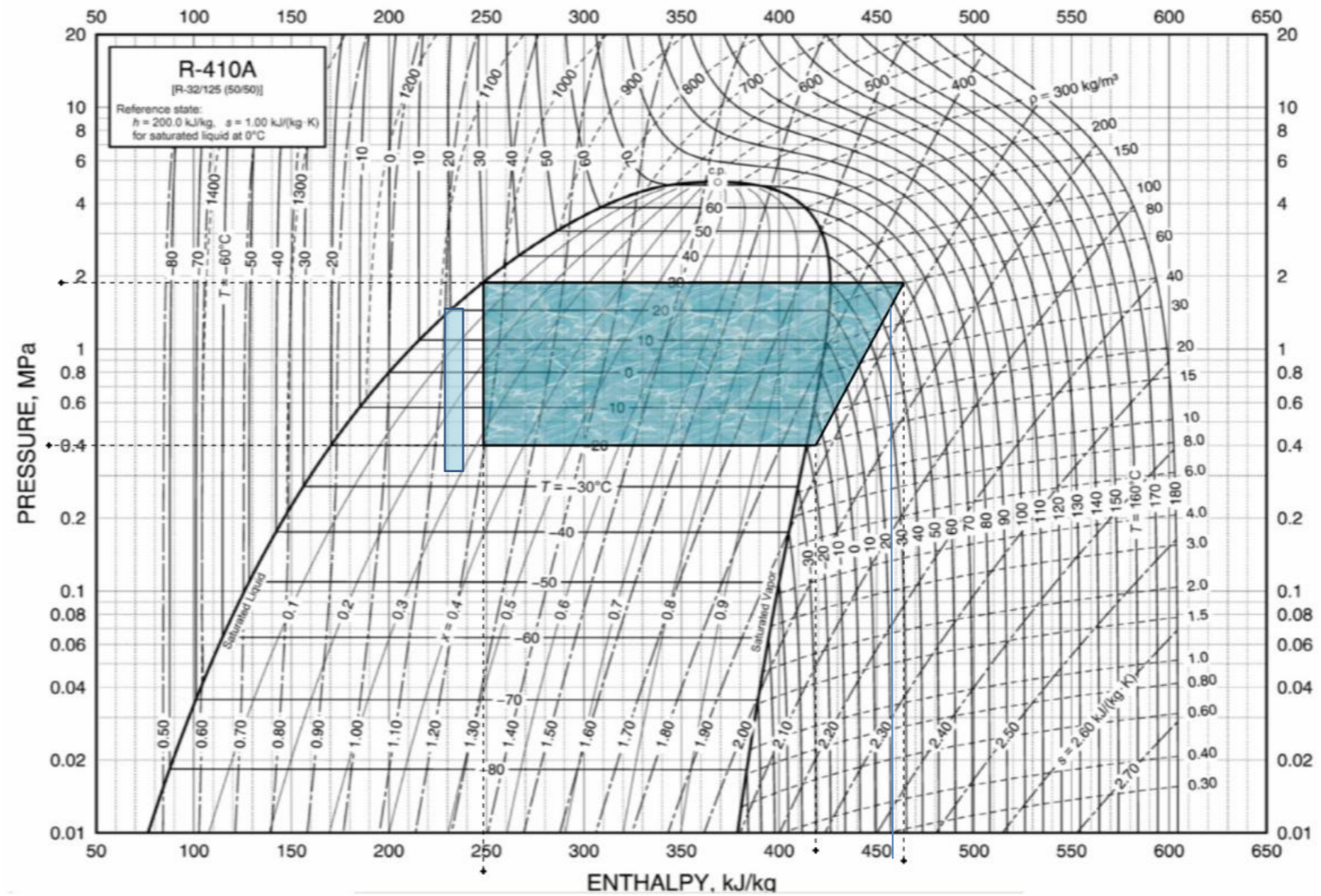
| | |
|-----------------|----------|
| η compr. Eletr | 0,95 |
| Pot. El- compr. | 31,78 Kw |
| Costo | 6579 € |

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

| | |
|----|-------------|
| v1 | 3,8 m/s |
| ρ1 | 15 kg/m3 |
| V1 | 0,0370 m3/s |
| d1 | 111,4 mm |

Linea del liquido (condensatore--> valvola)

| | |
|----|--------------|
| v3 | 1,5 m/s |
| ρ3 | 1060 kg/m3 |
| V3 | 0,00052 m3/s |
| d3 | 21,1 mm |



Linea di scarico (compressore-->condensatore)

| | |
|----|--------------|
| v2 | 15 m/s |
| ρ2 | 60 kg/m3 |
| V2 | 0,00926 m3/s |
| d2 | 28,0 mm |

CELLA FRIGORIFERA CICLO REALE

GAS R32

| | |
|------------------|--------|
| Potenza cella | 100 kW |
| T cella | -10 °C |
| T ambiente | 20 °C |
| Surriscaldam. | 5 °C |
| Sottoraffred. | 5 °C |
| Rend. Compr. | 0,92 |
| Rend. El. Compr. | 0,95 |



| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m ³] |
|-------|-----|---------|-----------|------------------------|
| 1 | -15 | 0,4 | 515 | 11 |
| 2s | 80 | 1,9 | 580 | 39 |
| 2 | 85 | 1,9 | 585,65 | 38 |
| 3 | 25 | 1,9 | 242 | 970 |
| 4 | -20 | 0,4 | 242 | |

Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

| | |
|--------|--------------|
| Is | 65 kJ/kg |
| h2 | 585,65 kJ/kg |
| Ireale | 70,65 kJ/kg |
| qi | 273 kJ/kg |
| qs | 338 kJ/kg |
| err | 3,86 |
| cop | 4,78 |

Portata refrigerante

| | |
|----|--------------------------|
| m | 0,3663 kg/s |
| V1 | 0,0333 m ³ /s |

Potenza assorbita dalla macchina

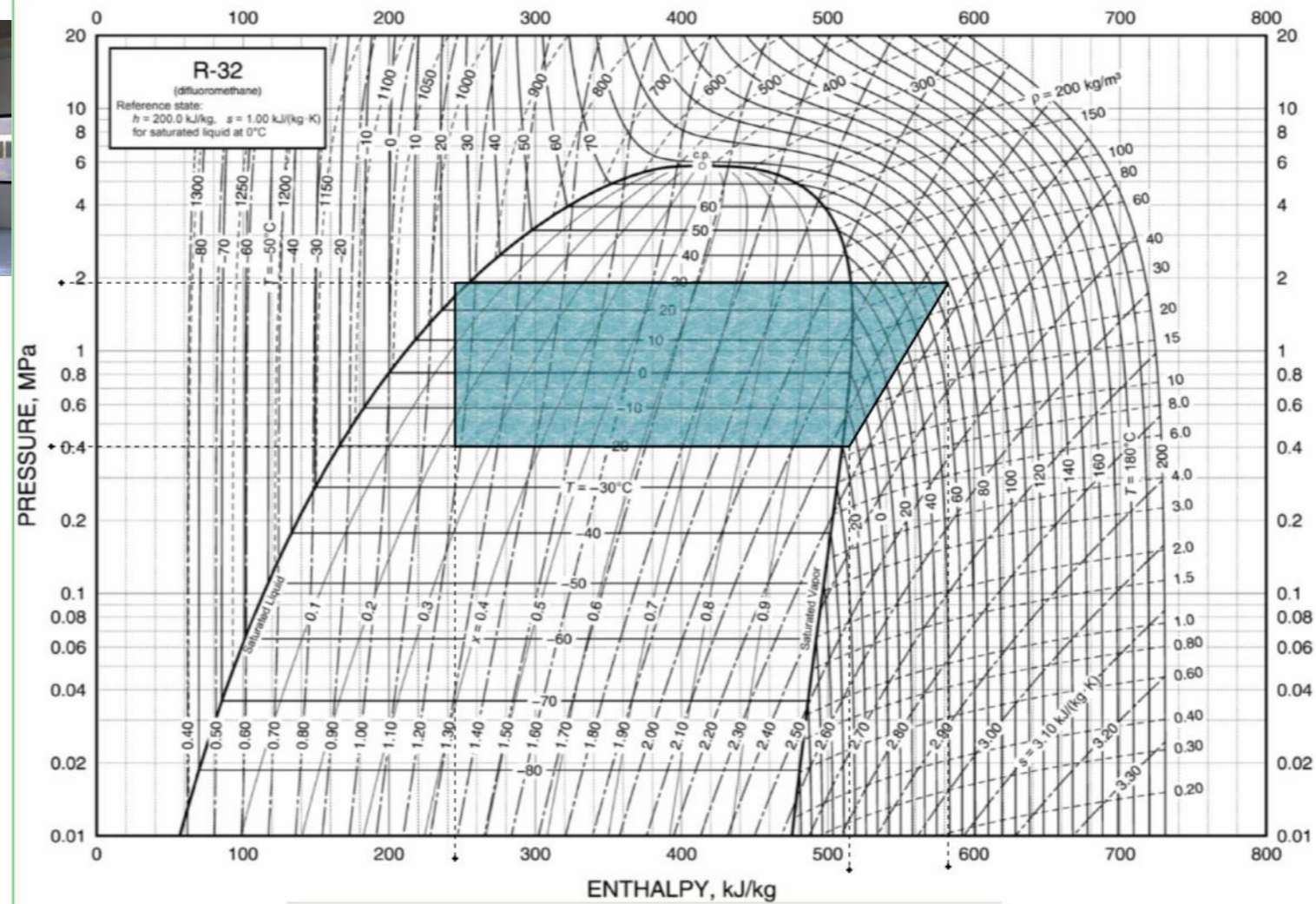
| | |
|-----------------|----------|
| η compr. Eletr | 0,95 |
| Pot. El- compr. | 27,24 Kw |
| Costo | 5639 € |

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

| | |
|----|--------------------------|
| v1 | 3,8 m/s |
| ρ1 | 11 kg/m ³ |
| V1 | 0,0333 m ³ /s |
| d1 | 105,7 mm |

Linea del liquido (condensatore--> valvola)

| | |
|----|---------------------------|
| v3 | 1,5 m/s |
| ρ3 | 970 kg/m ³ |
| V3 | 0,00038 m ³ /s |
| d3 | 17,9 mm |



Linea di scarico (compressore-->condensatore)

| | |
|----|---------------------------|
| v2 | 15 m/s |
| ρ2 | 38 kg/m ³ |
| V2 | 0,00964 m ³ /s |
| d2 | 28,6 mm |

CELLA FRIGORIFERA CICLO REALE

GAS R134-A

Potenza cella 100 kW
 T cella -10 °C
 T ambiente 20 °C
 Surriscaldam. 5 °C
 Sottoraffred. 5 °C
 Rend. Compr. 0,92
 Rend. El. Compr. 0,95



| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m ³] |
|-------|-----|---------|-----------|------------------------|
| 1 | -15 | 0,15 | 380 | 6,6 |
| 2s | 42 | 0,78 | 435 | 35 |
| 2 | 45 | 0,78 | 439,78 | 34 |
| 3 | -25 | 0,78 | 235 | 1210 |
| 4 | -20 | 0,15 | 235 | |

Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

Is 55 kJ/kg
 h2 439,78 kJ/kg
 I reale 59,78 kJ/kg
 qi 145 kJ/kg
 qs 200 kJ/kg
 err 2,43
 cop 3,35

Portata refrigerante

m 0,6897 kg/s
 V1 0,1045 m³/s

Potenza assorbita dalla macchina

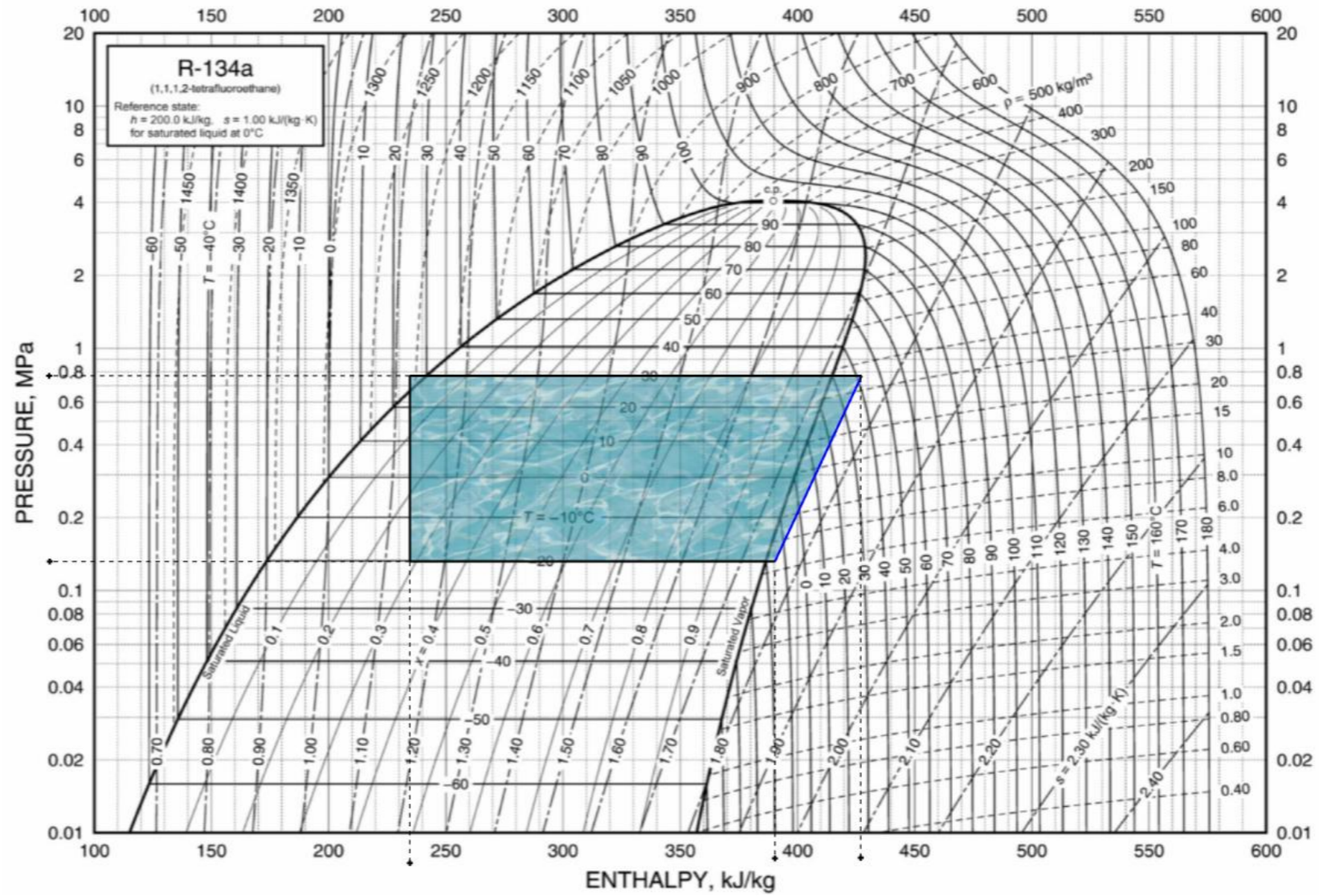
η compr. Eletr 0,95
 Pot. El- compr. 43,40 Kw
 Costo 8984 €

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

v1 3,8 m/s
 ρ1 6,6 kg/m³
 V1 0,1045 m³/s
 d1 187,2 mm

Linea del liquido (condensatore--> valvola)

v3 1,5 m/s
 ρ3 1210 kg/m³
 V3 0,00057 m³/s
 d3 22,0 mm



Linea di scarico (compressore-->condensatore)

v2 15 m/s
 ρ2 34 kg/m³
 V2 0,02028 m³/s
 d2 41,5 mm

CONFRONTO GAS FRIGO

Ts 50 °C
Ti 0 °C
Pot. Frigo 5 kW
Giorni 90
Ore 10 ore/giorno
C. elettr. 0,23 €/kWh

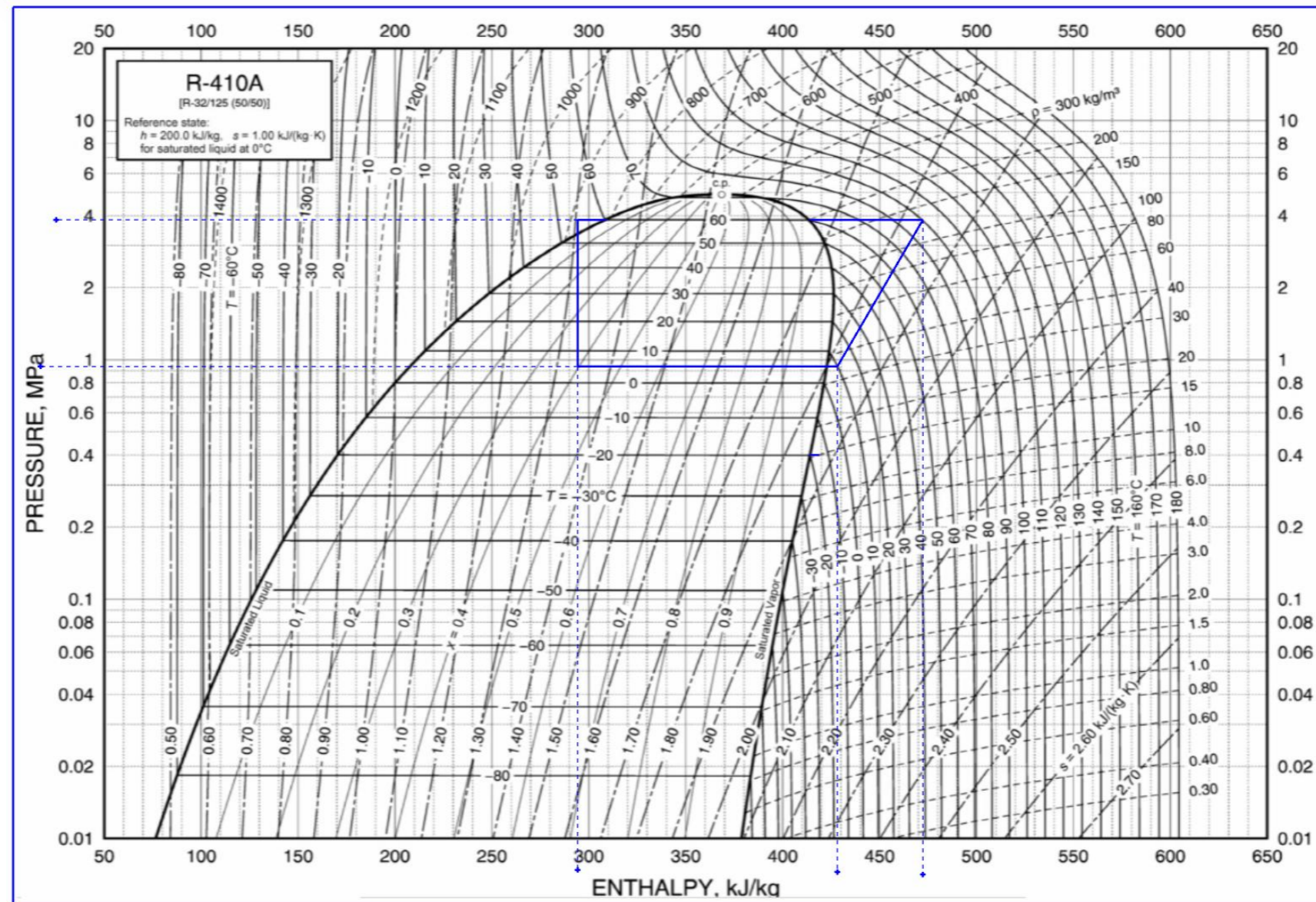
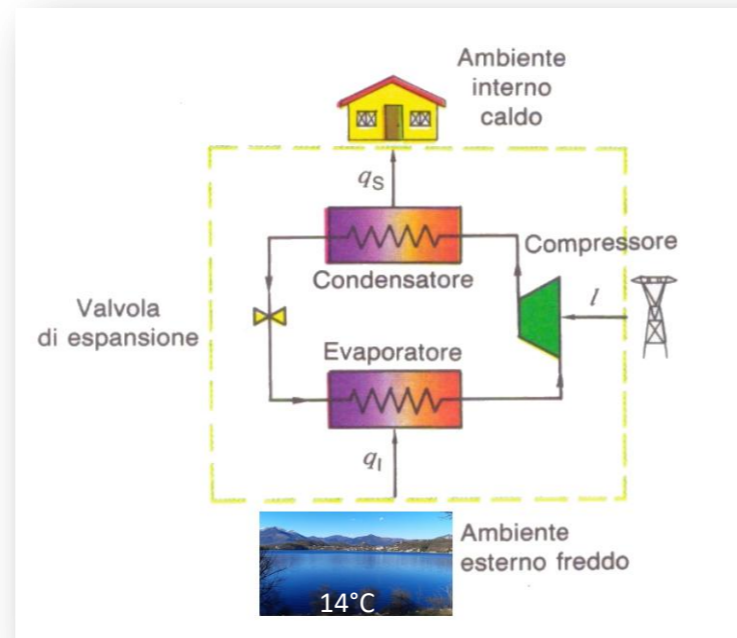
| | ERR | m (Kg/s) | Pot. (kW) | C (€/anno) | % |
|--------|------|----------|-----------|------------|----|
| R134a | 2,43 | 0,69 | 43,4 | 8984 | 59 |
| R410-A | 3,3 | 0,55 | 31,78 | 6580 | 17 |
| R32 | 3,86 | 0,36 | 27,24 | 5639 | |

Pompa di calore per impianto idronico

| | |
|---------------------|---------|
| Potenza | 1500 Kw |
| Ts | 60 °C |
| Ti | 5 °C |
| T lago | 14 °C |
| T H2O idronica | 45 °C |
| ΔT idronica | 10 °C |
| rend. Compr. Centr. | 0,9 |
| rend. Org. | 0,98 |
| rend. Elettr. | 0,96 |

GAS 410A

| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m3] |
|-------|----|---------|-----------|-----------|
| 1 | 10 | 9 | 428 | 33 |
| 2s | 90 | 39 | 473 | 130 |
| 2 | 97 | 39 | 478 | 130 |
| 3 | 55 | 39 | 294 | 880 |
| 4 | 5 | 9 | 294 | |



Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

| | |
|--------|--------------|
| ls | 45 kJ/kg |
| h2 | 478,00 kJ/kg |
| lreale | 50,00 kJ/kg |
| qi | 134 kJ/kg |
| qs | 184,00 kJ/kg |
| err | 2,68 |
| cop | 3,68 |

Portata refrigerante

| | |
|----|--------------|
| m | 11,1940 kg/s |
| V1 | 0,3392 m3/s |

Potenza assorbita dalla macchina

| | |
|-----------------|-----------|
| η compr. Tot | 0,9408 |
| Pot. El- compr. | 594,92 Kw |
| Costo 1h | 137 € |

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

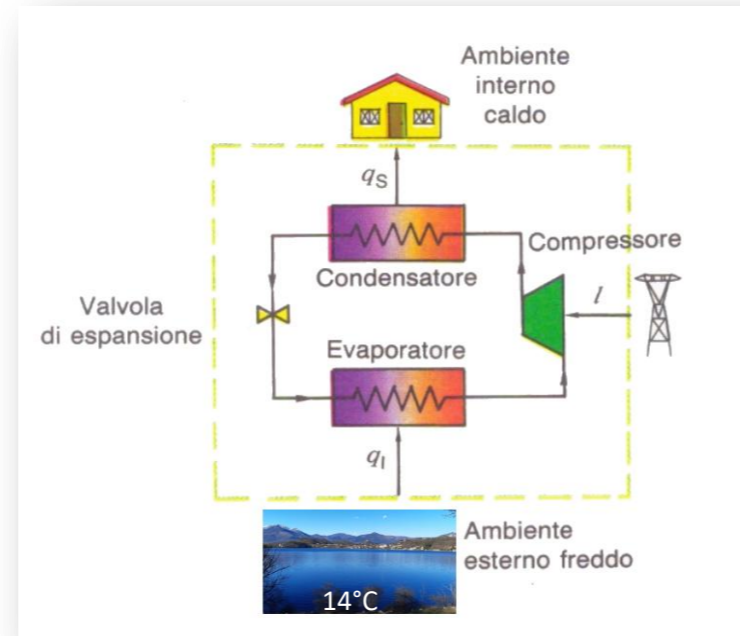
| | |
|----|-------------|
| v1 | 3,8 m/s |
| ρ1 | 33 kg/m3 |
| V1 | 0,3392 m3/s |
| d1 | 337,2 mm |

Pompa di calore per impianto idronico

| | |
|---------------------|---------|
| Potenza | 1500 Kw |
| Ts | 60 °C |
| Ti | 5 °C |
| T lago | 14 °C |
| T H2O idronica | 45 °C |
| ΔT idronica | 10 °C |
| rend. Compr. Centr. | 0,9 |
| rend. Org. | 0,98 |
| rend. Elettr. | 0,96 |

GAS R32

| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m3] |
|-------|-----|---------|-----------|-----------|
| 1 | 10 | 9,5 | 522,5 | 25 |
| 2s | 105 | 39,5 | 582,5 | |
| 2 | 110 | 39,5 | 589,2 | |
| 3 | 55 | 39,5 | 308,0 | |
| 4 | 5 | 9,5 | 308,0 | |



Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

| | |
|--------|--------------|
| ls | 60 kJ/kg |
| h2 | 589,17 kJ/kg |
| lreale | 66,67 kJ/kg |
| qi | 214,5 kJ/kg |
| qs | 281,17 kJ/kg |
| err | 3,22 |
| cop | 4,22 |

Portata refrigerante

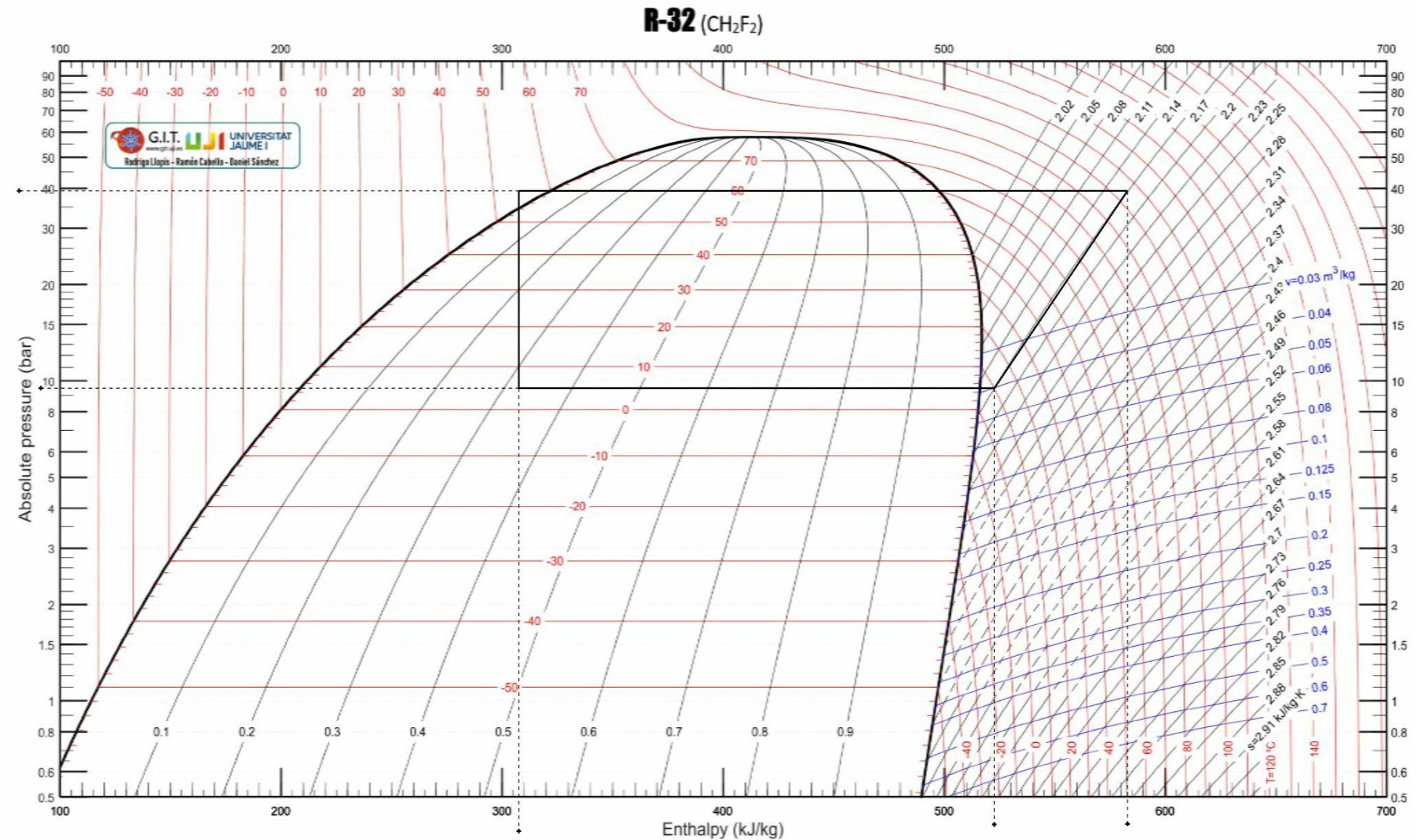
| | |
|----|-------------|
| m | 6,9930 kg/s |
| V1 | 0,2797 m3/s |

Potenza assorbita dalla macchina

| | |
|-----------------|-----------|
| η compr. Tot | 0,9408 |
| Pot. El- compr. | 495,54 Kw |
| Costo 1h | 114 € |

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

| | |
|----|-------------|
| v1 | 3,8 m/s |
| ρl | 25 kg/m3 |
| V1 | 0,2797 m3/s |
| d1 | 306,2 mm |

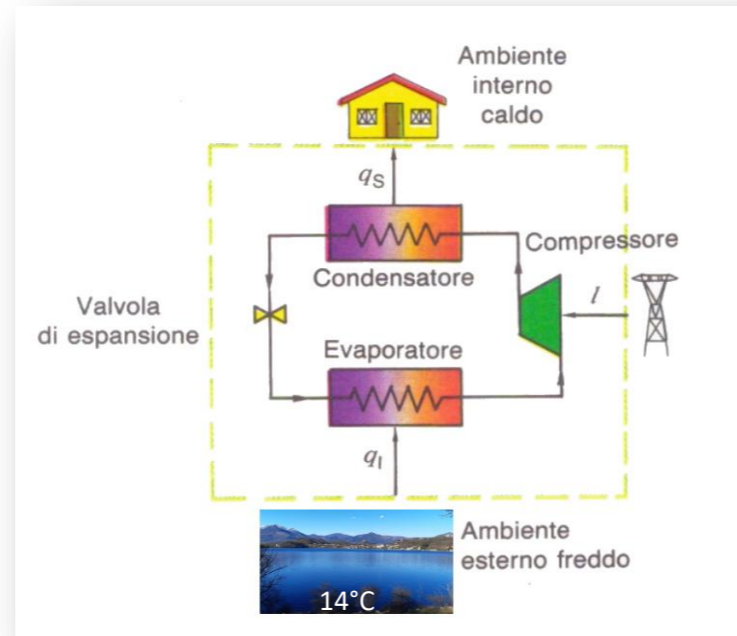


Pompa di calore per impianto idronico

| | |
|---------------------|---------|
| Potenza | 1500 Kw |
| Ts | 60 °C |
| Ti | 5 °C |
| T lago | 14 °C |
| T H2O idronica | 45 °C |
| ΔT idronica | 10 °C |
| rend. Compr. Centr. | 0,9 |
| rend. Org. | 0,98 |
| rend. Elettr. | 0,96 |

GAS R290

| Punto | T | p [bar] | h [kJ/kg] | ρ [kg/m3] |
|-------|----|---------|-----------|-----------|
| 1 | 10 | 5,5 | 590,0 | 11,4 |
| 2s | 70 | 21,0 | 655,0 | 66,7 |
| 2 | 75 | 21,0 | 662,2 | |
| 3 | 55 | 21,0 | 350,0 | |
| 4 | 5 | 5,5 | 350,0 | |



R-290 (propane, C₂H₈)

Lavoro, energia e rendimento del ciclo ideale

| | |
|--------------------|--------------|
| l _s | 65 kJ/kg |
| h ₂ | 662,22 kJ/kg |
| l _{reale} | 72,22 kJ/kg |
| q _i | 240 kJ/kg |
| q _s | 312,22 kJ/kg |
| err | 3,32 |
| cop | 4,32 |

Portata refrigerante

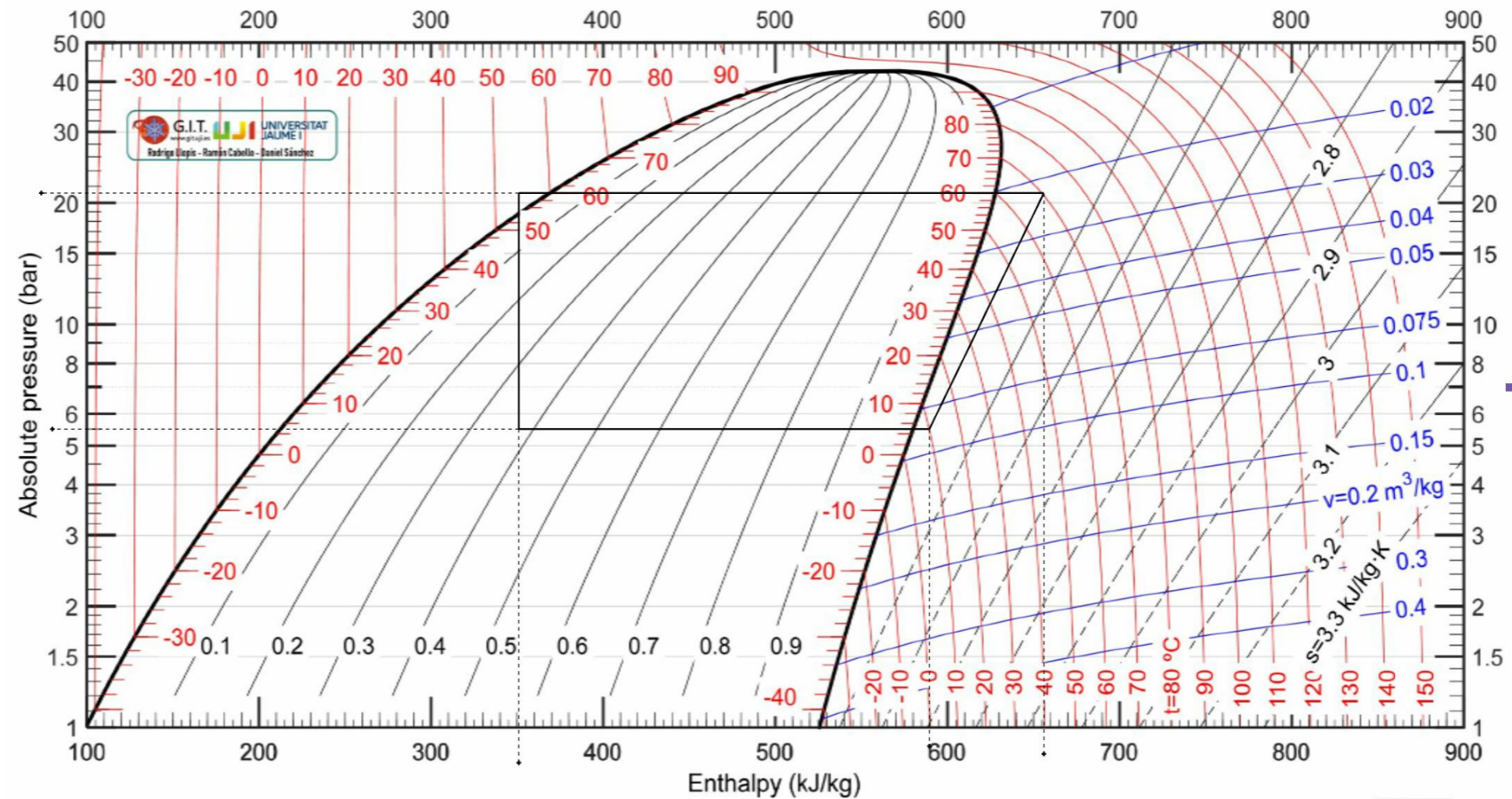
| | |
|----------------|--------------------------|
| m | 6,2500 kg/s |
| V ₁ | 0,5482 m ³ /s |

Potenza assorbita dalla macchina

| | |
|-----------------|-----------|
| η compr. Tot | 0,9408 |
| Pot. El- compr. | 479,79 Kw |
| Costo 1h | 110 € |

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

| | |
|----------------|--------------------------|
| v ₁ | 3,8 m/s |
| ρ ₁ | 11,4 kg/m ³ |
| V ₁ | 0,5482 m ³ /s |
| d ₁ | 428,7 mm |



CONFRONTO GAS FRIGO

Ts 50 °C
Ti 0 °C
Pot. Frig 5 kW
Giorni 0
Ore 1
C. elettr. 0,23 €/kWh

| | ERR | m (Kg/s) | Pot. (kW) | C (€/anno) | % |
|-------|------|----------|-----------|------------|----|
| R410A | 2,68 | 11,2 | 43,4 | 137 | 25 |
| R32 | 3,22 | 7 | 31,78 | 114 | 4 |
| R290 | 3,32 | 6,25 | 27,24 | 110 | |