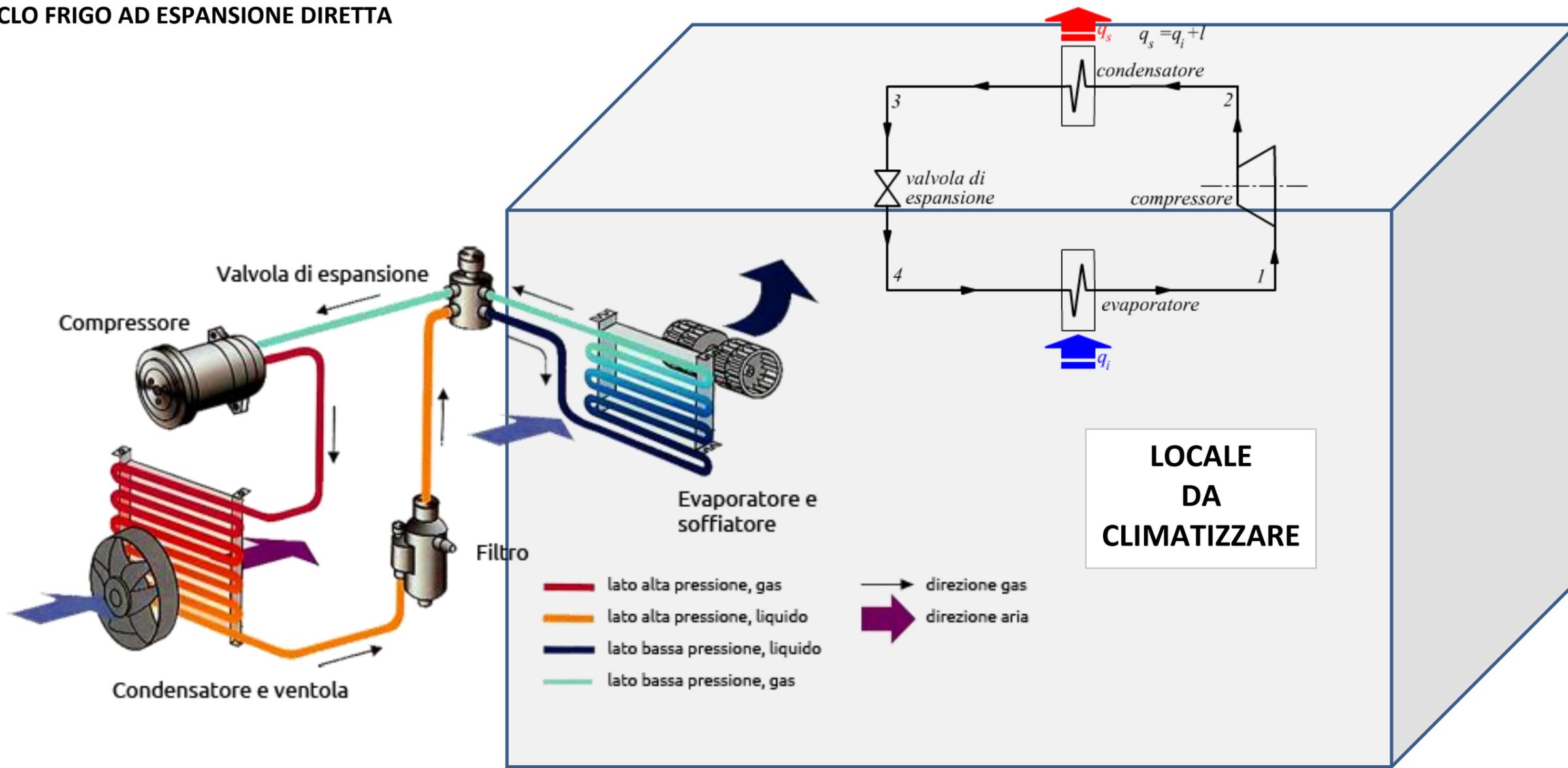
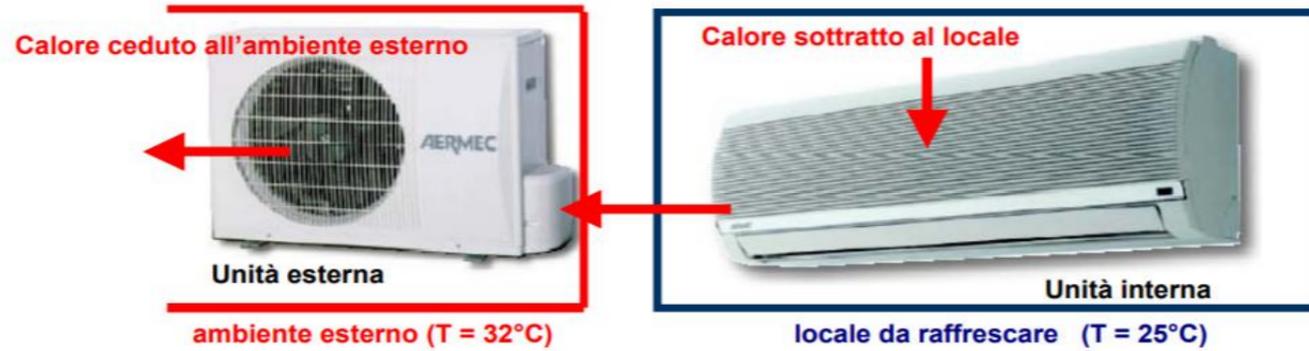


CICLO FRIGO AD ESPANSIONE DIRETTA



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)

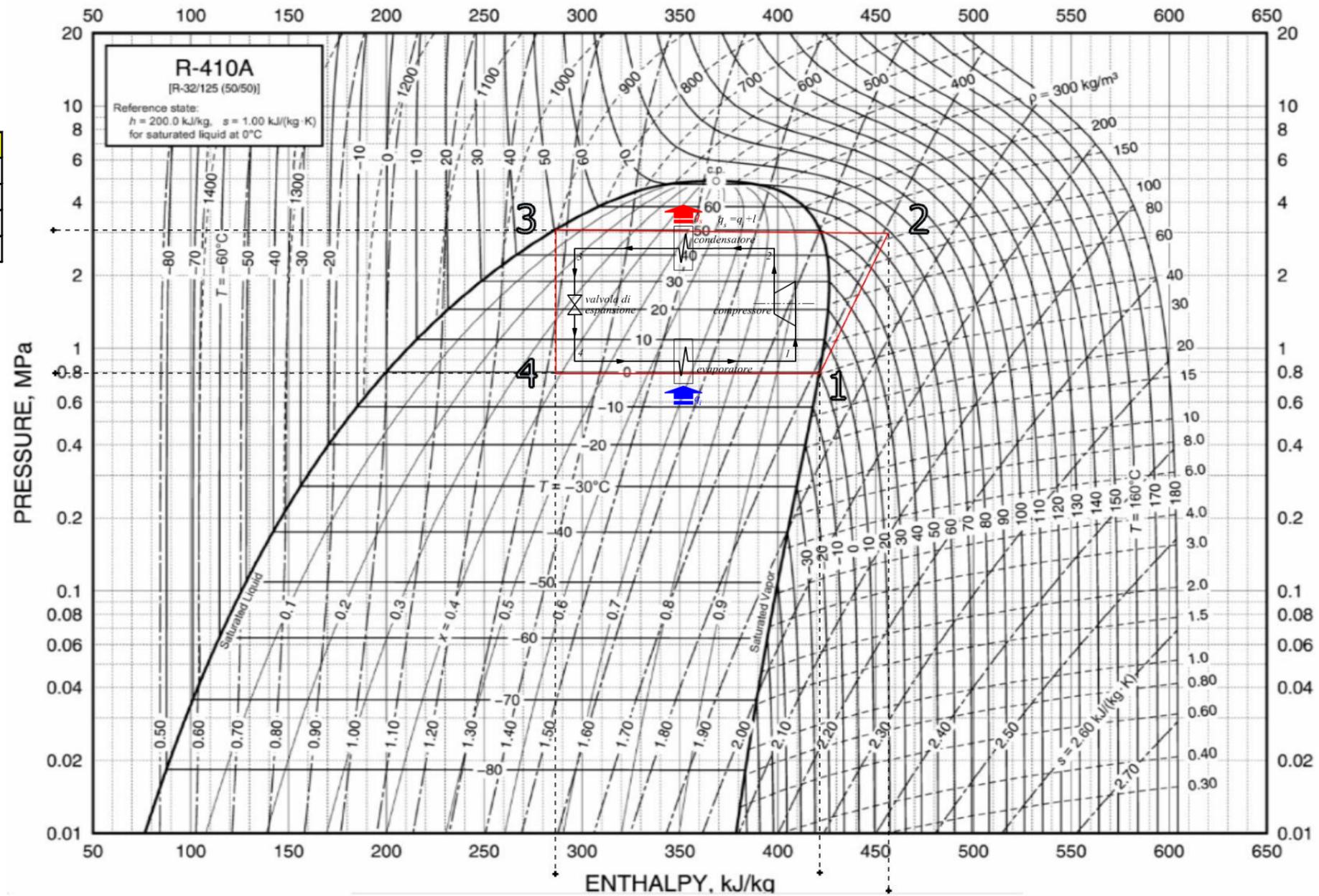
v1 3,8 m/s
 ρ1 30 kg/m³
 V1 0,001235 m³/s
 d1 20,3 mm

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)

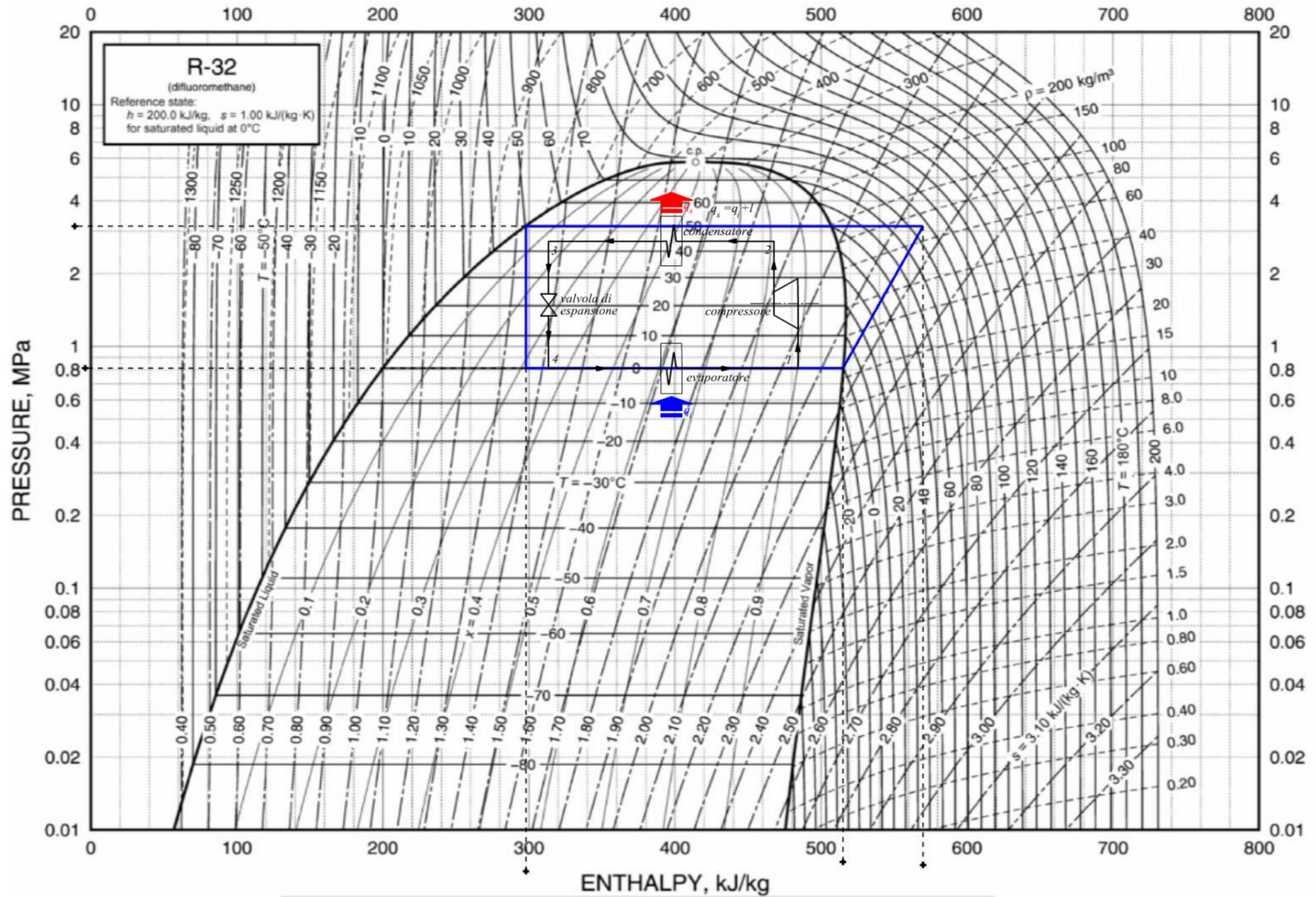
v1 3,8 m/s
 ρ1 23 kg/m³
 V1 0,000966 m³/s
 d1 18,0 mm

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)

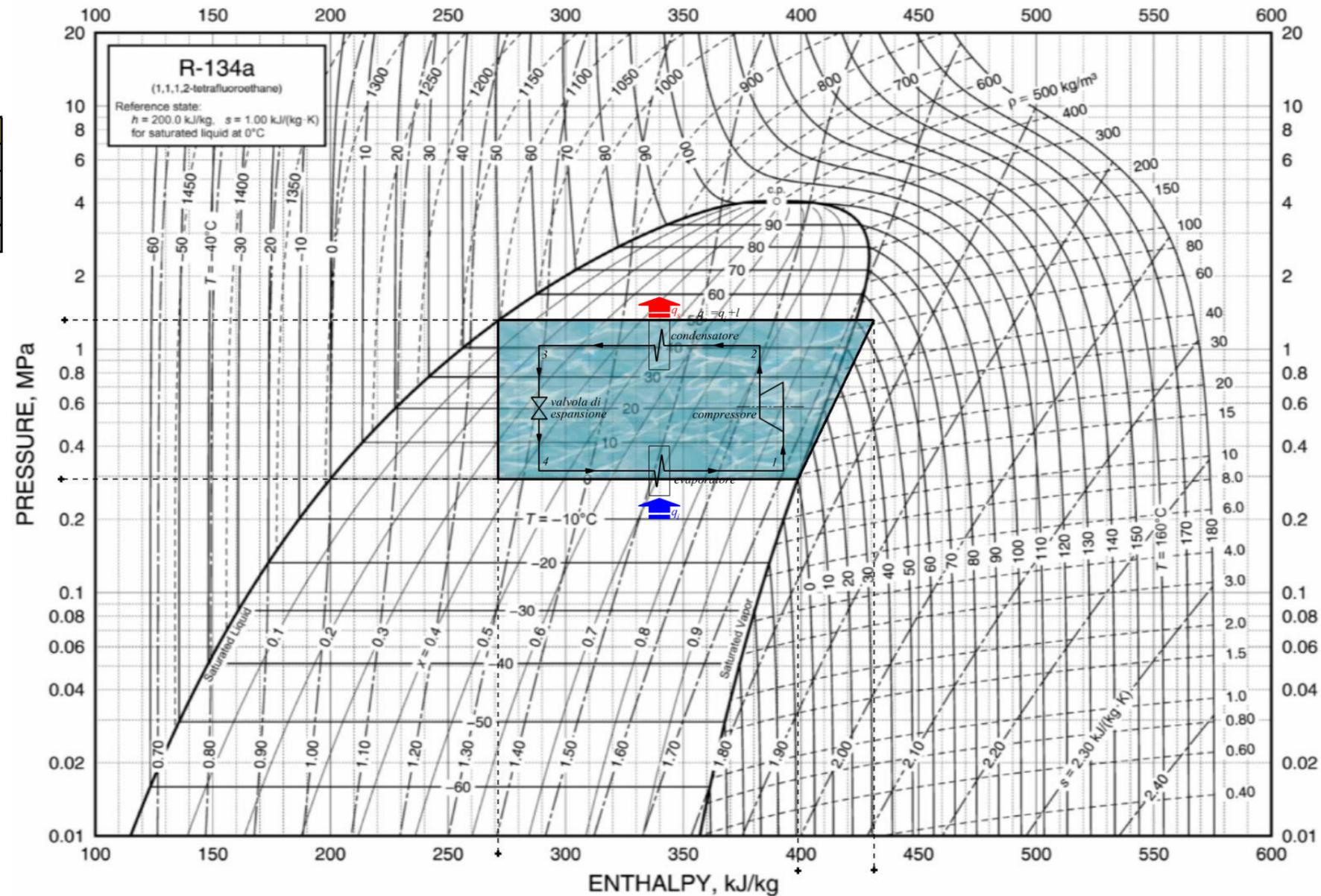
v1 3,8 m/s
 ρ1 14,5 kg/m³
 V1 0,002874 m³/s
 d1 31,0 mm

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)

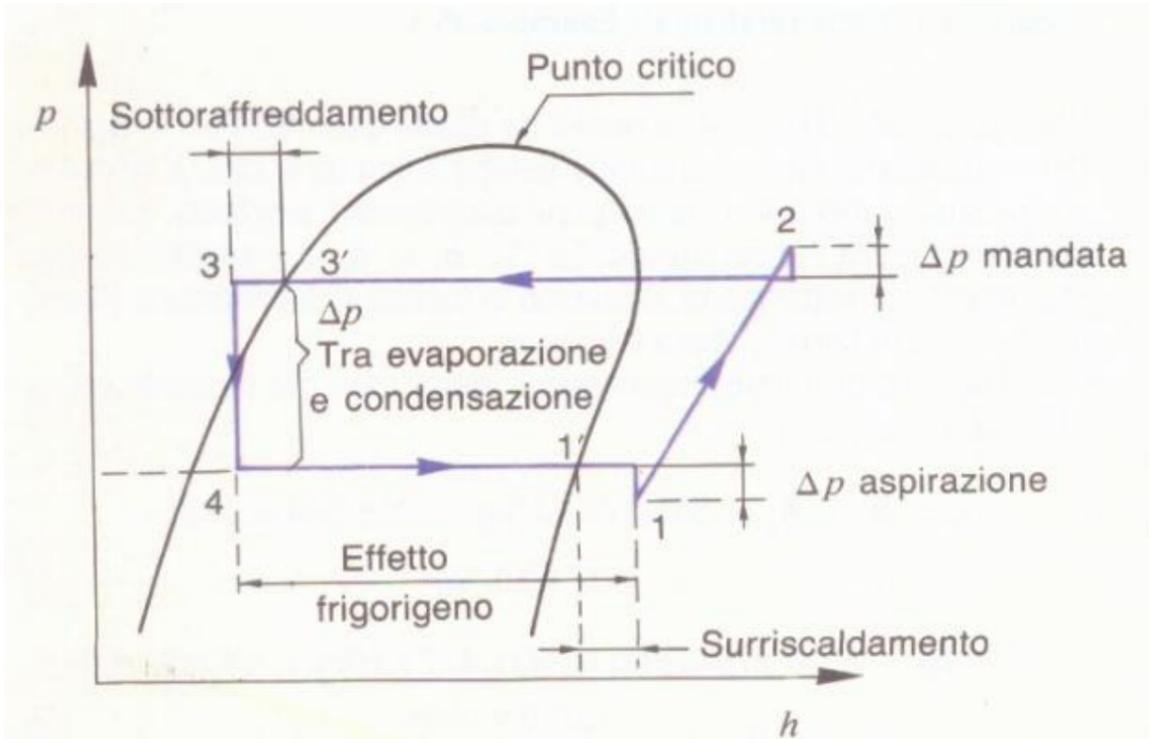
La linea che dalla valvola termostatica va all'evaporatore mantiene lo stesso diametro della linea del liquido.

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



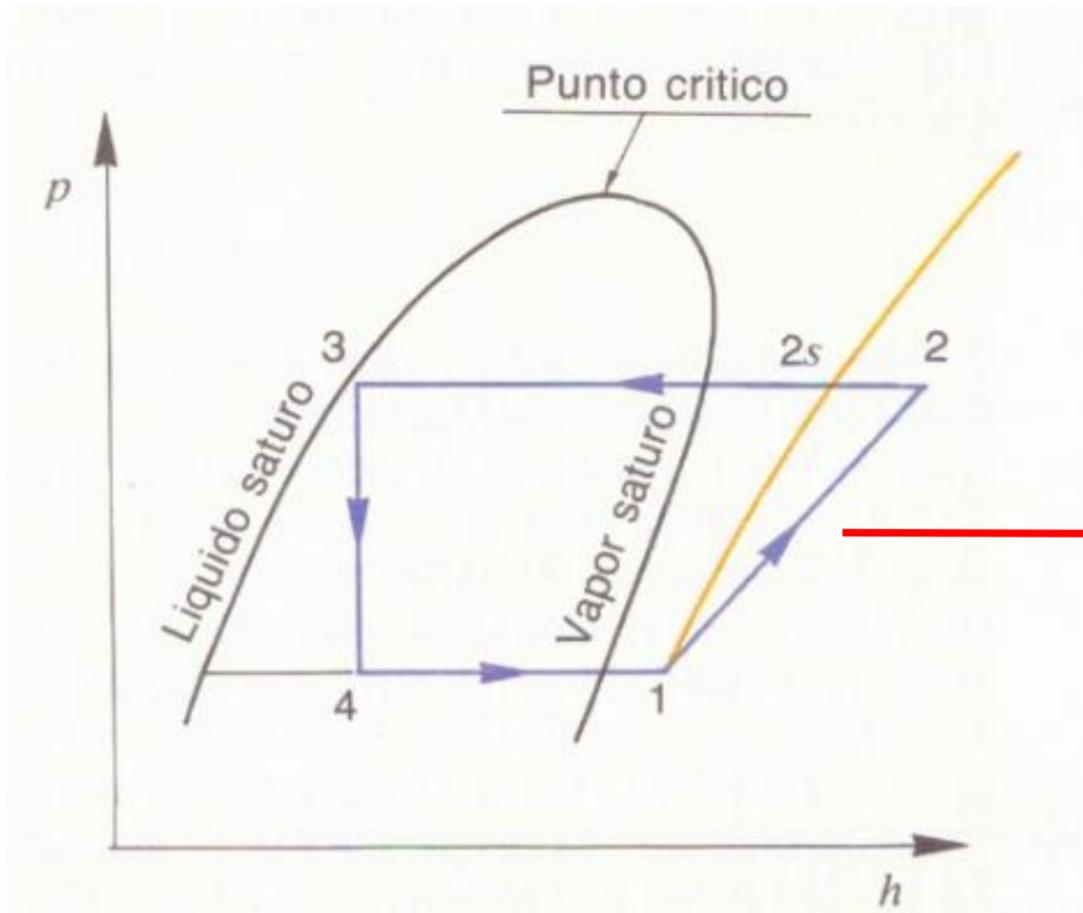
Sottoraffreddamento

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 h_2 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

Is 50 kJ/kg
 h2 474,35 kJ/kg
 Ireale 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

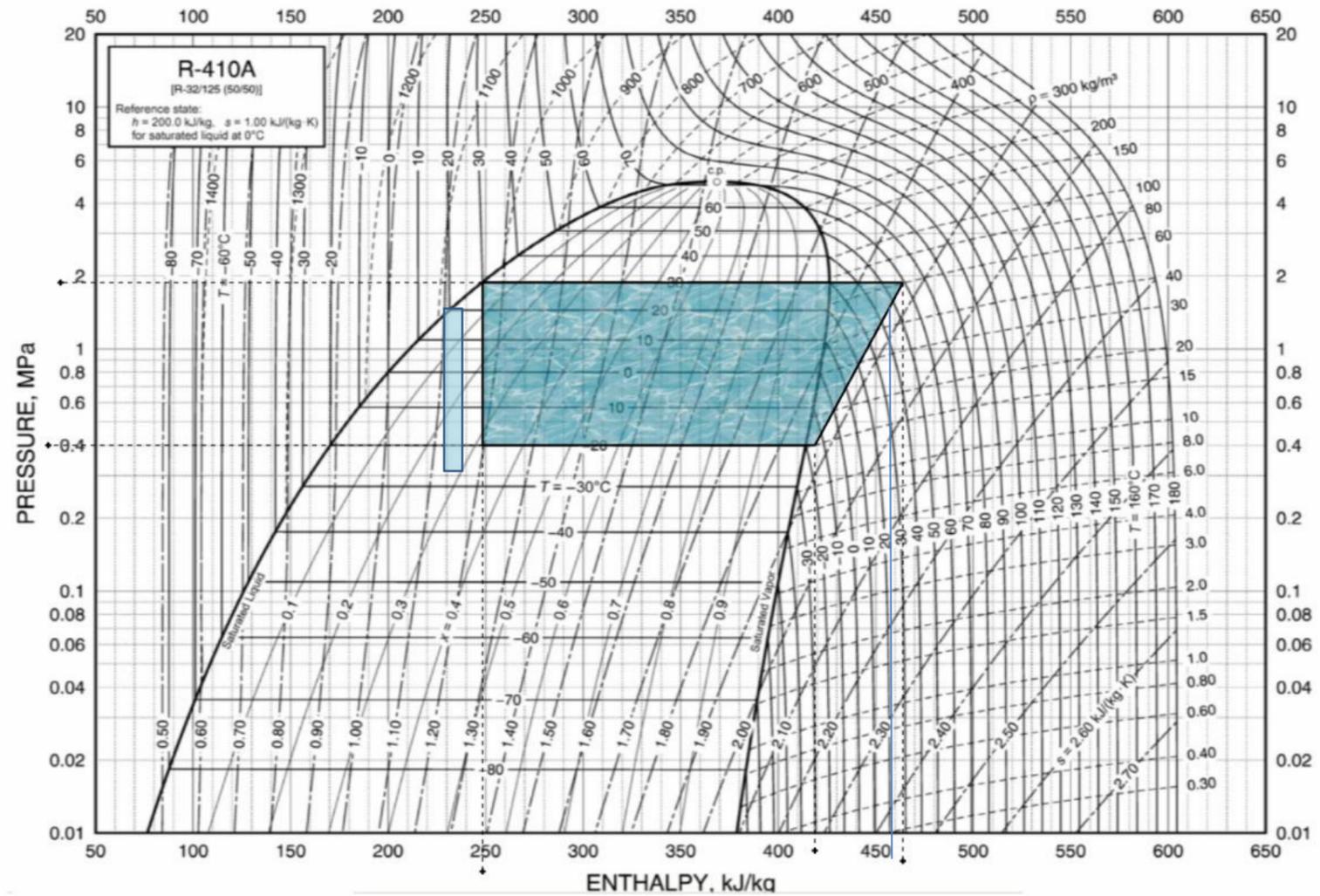
η compr. Eletr 0,95
 Pot. El- compr. 31,78 Kw
 Costo 6579 €

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

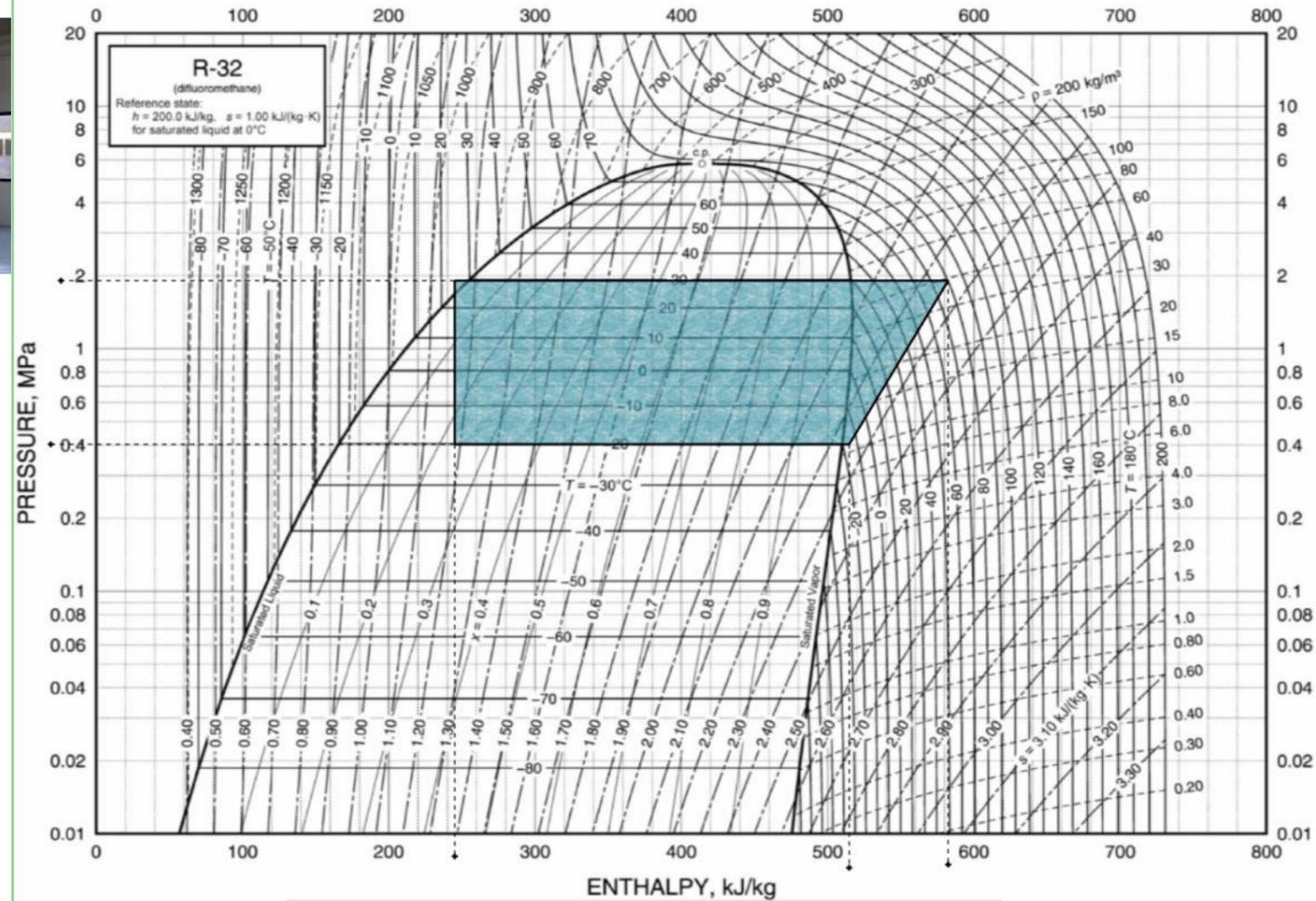
η compr. Eletr	0,95
Pot. El- compr.	27,24 Kw
Costo	5639 €

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
lreale	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 m ³ /s

Potenza assorbita dalla macchina

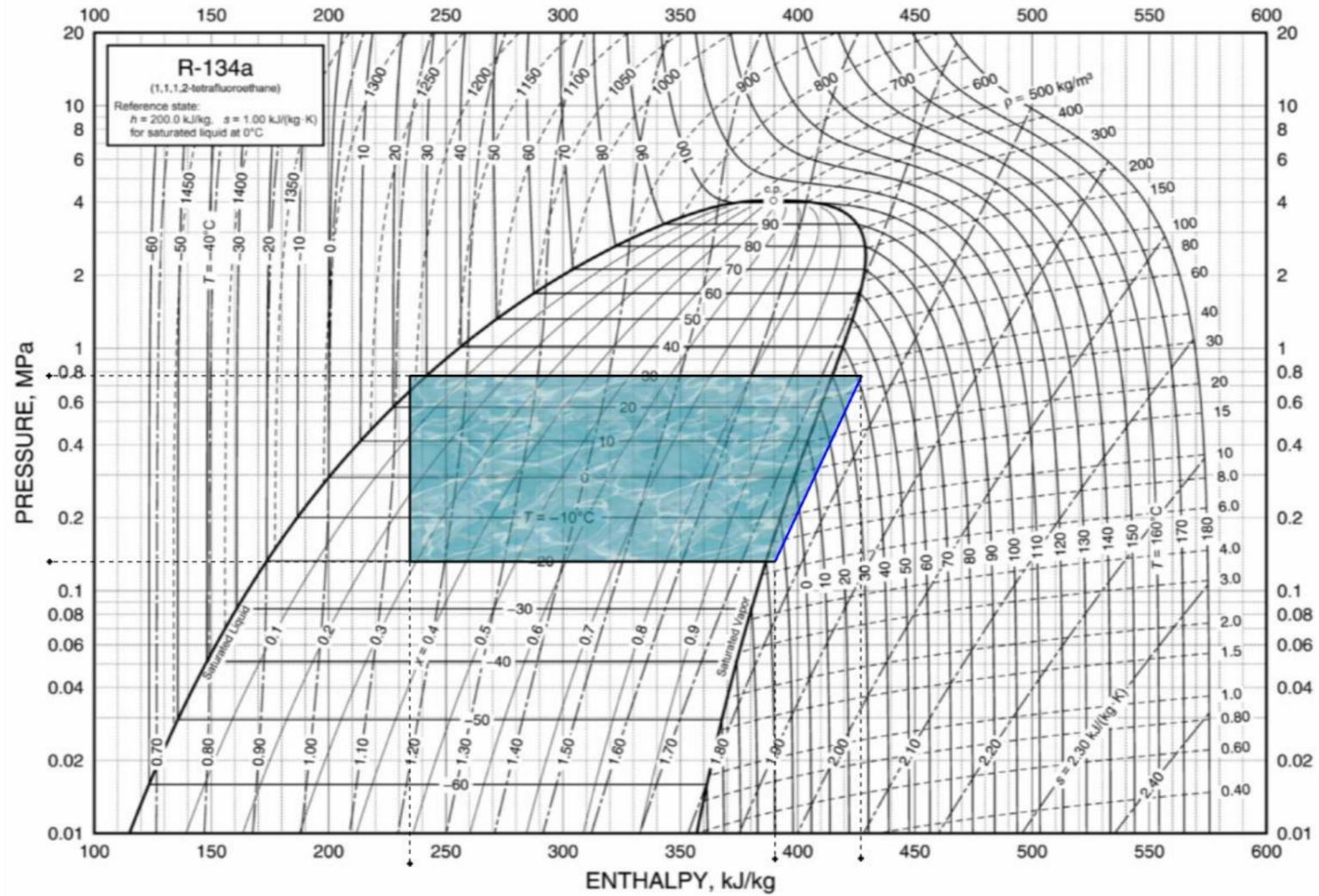
η compr. Eletr	0,95
Pot. El- compr.	43,40 Kw
Costo	8984 €

Linea di aspirazione (evaporatore--> compressore)

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

Linea del liquido (condensatore--> valvola)

v3	1,5 m/s
ρ3	1210 kg/m ³
V3	0,00057 m ³ /s
d3	22,0 mm



Linea di scarico (compressore-->condensatore)

v2	15 m/s
ρ2	34 kg/m ³
V2	0,02028 m ³ /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

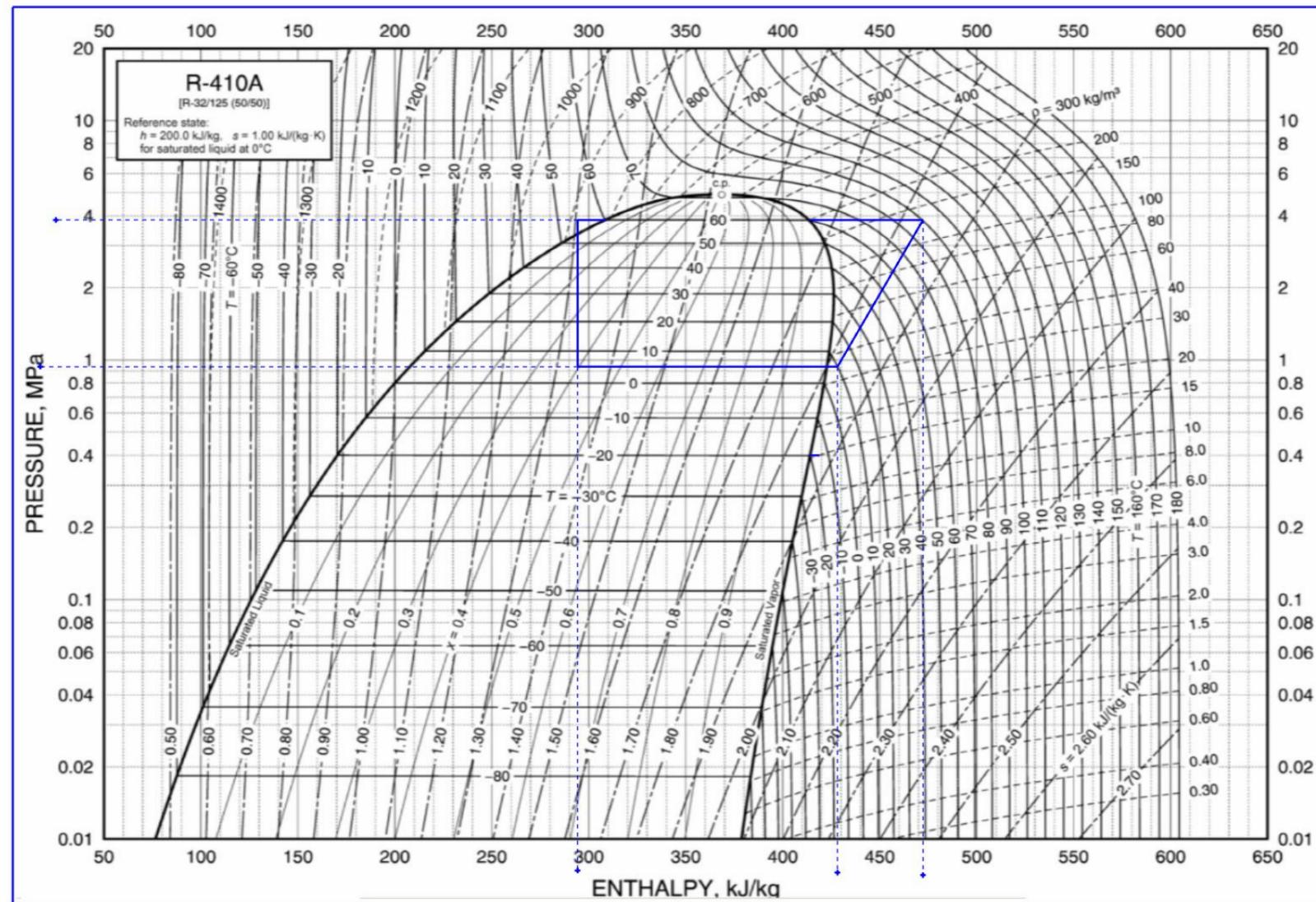
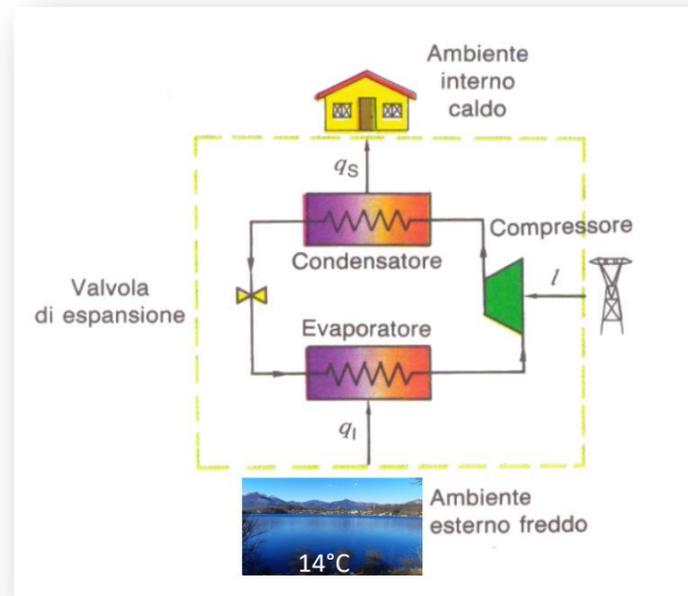
	ERR	m (Kg/s)	Pot. (kW)	C (€/anno)	%
R134a	2,43	0,69	43,4	8984	59
R410-A	3,3	0,55	31,78	6580	17
R32	3,86	0,36	27,24	5639	

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)

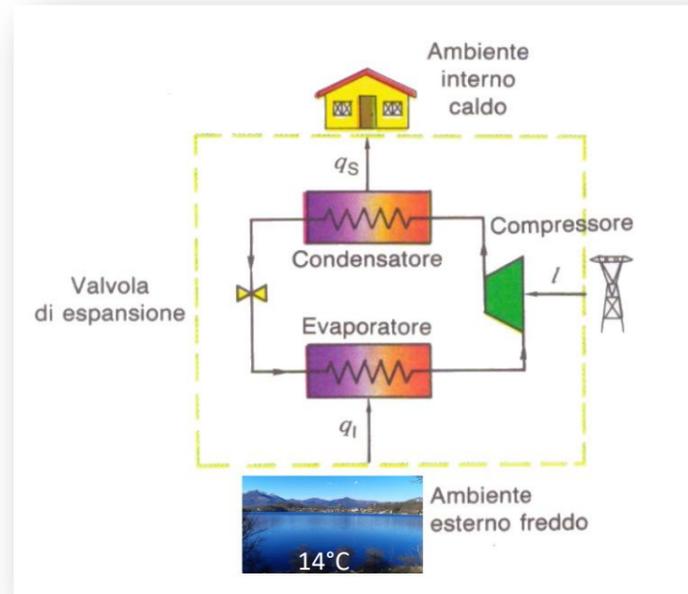
v1	3,8 m/s
ρ1	33 kg/m3
V1	0,3392 m3/s
d1	337,2 mm

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

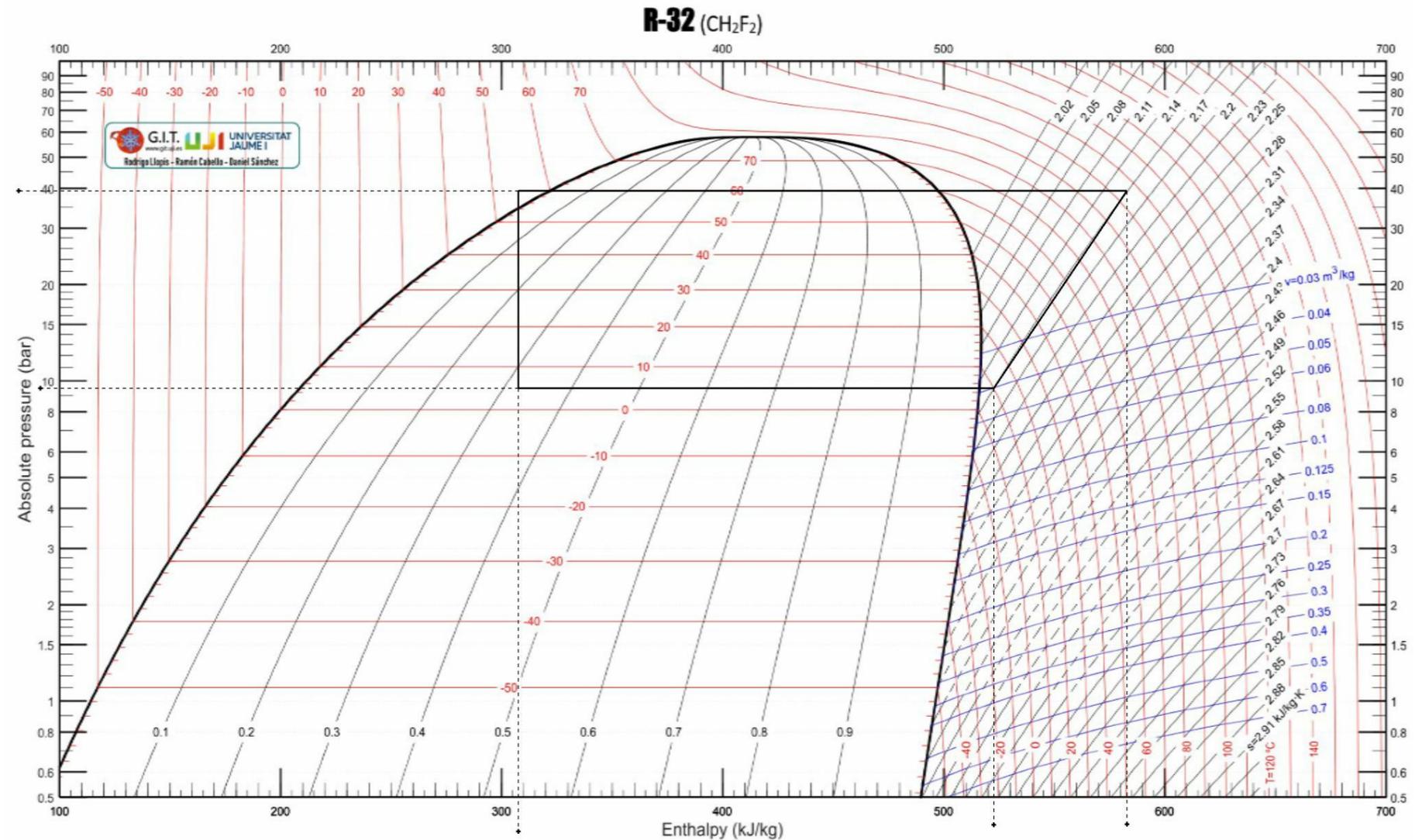
m	6,9930 kg/s
V1	0,2797 m3/s

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

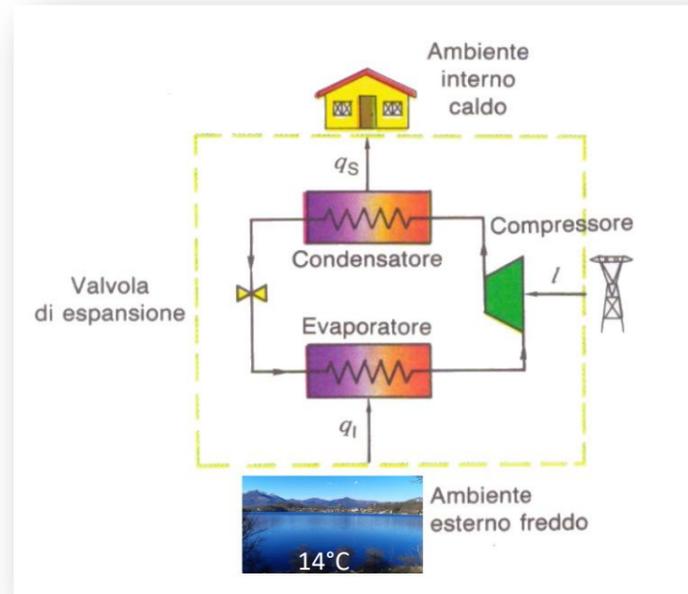


Pompa di calore per impianto idronico

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

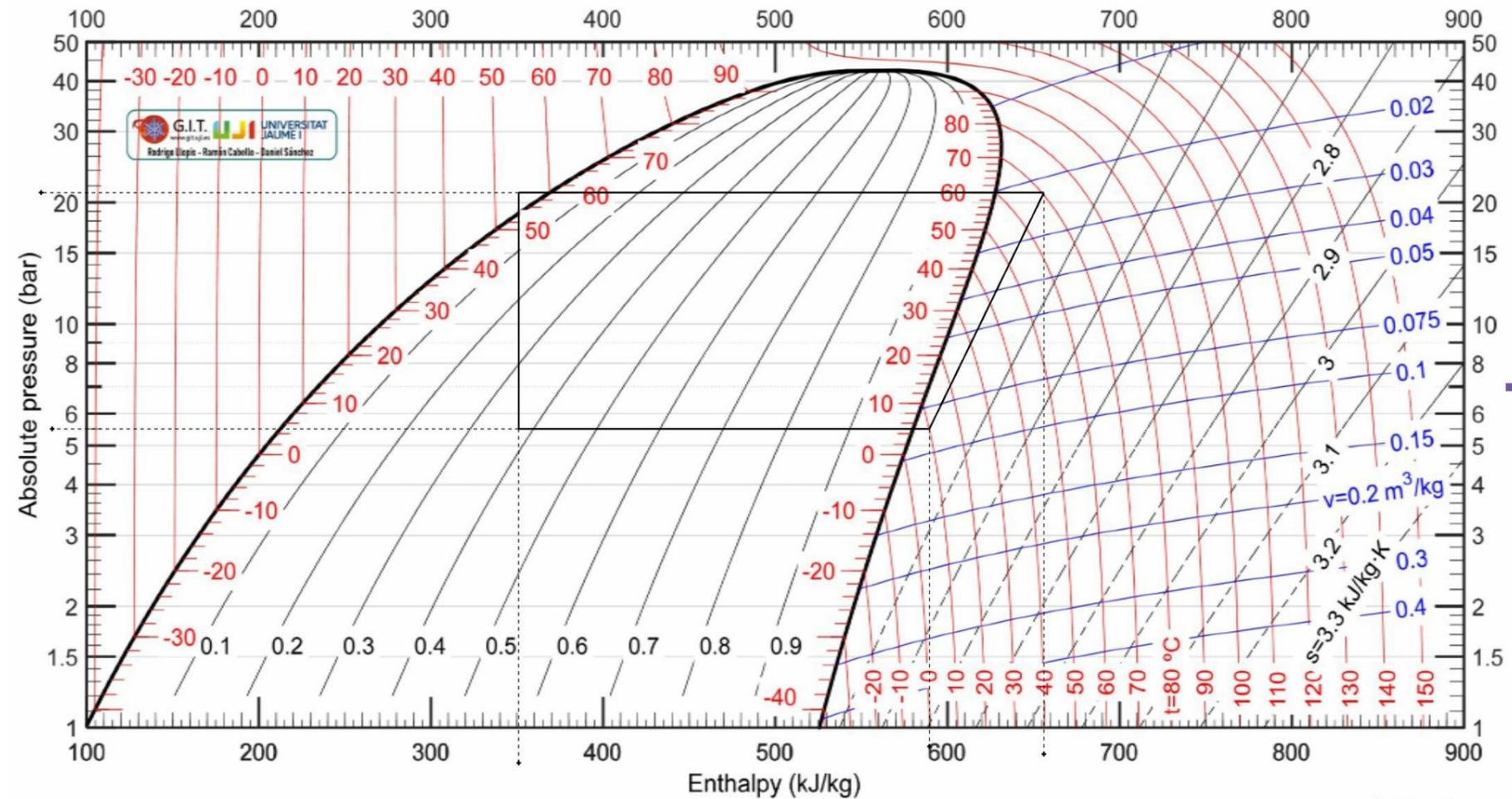
m	6,2500 kg/s
V ₁	0,5482 m ³ /s

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	