

Pompa di calore

REGISTRAZIONE E ANALISI DEL DIAGRAMMA PRESSIONE-ENTALPIA DI UNA POMPA DI CALORE A COMPRESSIONE

- Dimostrazione del funzionamento di una pompa elettrica di calore a compressione.
- Analisi quantitativa del corrispondente ciclo.
- Registrazione e analisi del diagramma pressione-entalpia.

UE2060300

03/18 UD



Fig. 1: Disposizione per la misurazione

BASI GENERALI

Una pompa elettrica di calore a compressione è costituita da un compressore con motore di azionamento, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore. Il suo funzionamento si basa su un ciclo con transizione di fase che fa passare il mezzo di lavoro nella pompa e che,

idealmente, può essere suddiviso nelle seguenti quattro fasi: compressione, condensazione, espansione con strozzamento ed evaporazione.

Per la compressione, il mezzo di lavoro gassoso viene aspirato dal compressore, compresso senza variazione di entropia ($s_1 = s_2$) da p_1 a p_2 e surriscaldato, v. Fig. 2 e Fig. 3. La temperatura sale pertanto da T_1 a T_2 . Per unità di massa si compie il lavoro meccanico di compressione $\Delta w = h_2 - h_1$.

Nel condensatore, il mezzo di lavoro si raffredda e condensa. Il calore liberato (calore di surriscaldamento e calore di condensazione) è pari per unità di massa a $\Delta q^{cond} = h_2 - h_3$. Riscalda il serbatoio circostante.

Il mezzo condensato giunge alla valvola di espansione dove, con strozzamento (cioè senza lavoro meccanico), si ritrova in un ambiente con pressione inferiore e si espande. Anche la temperatura diminuisce poiché è necessario compiere un certo lavoro contro le forze molecolari di attrazione presenti nel mezzo (effetto Joule-Thomson). L'entalpia resta costante ($h_4 = h_3$).

Nell'evaporatore, con l'assorbimento di calore, il mezzo di lavoro evapora completamente. Ciò causa il raffreddamento del serbatoio circostante. Per unità di massa, il calore assorbito è pari a $\Delta q^{vapo} = h_1 - h_4$.

Per rappresentare il ciclo di una pompa di calore a compressione si utilizza spesso il diagramma di Mollier del mezzo di lavoro. Vi è riportata la pressione p raffrontata all'entalpia specifica h del mezzo di lavoro (l'entalpia è una misura che esprime il contenuto termico del mezzo, in genere aumenta all'aumentare della pressione e della percentuale di gas).

Sono indicate le isoterme ($T = \text{cost.}$) e le isoentropiche ($s = \text{cost.}$), così come la percentuale relativa di massa della fase liquida del mezzo di lavoro. A sinistra della cosiddetta linea di ebollizione, il mezzo di lavoro è completamente condensato. A destra della cosiddetta linea di condensazione, il mezzo di lavoro è presente sotto forma di vapore surriscaldato e, fra le due linee, in forma di miscela liquido-gas. Le due linee si toccano nel punto critico.

Per la rappresentazione nel diagramma di Mollier, il ciclo idealizzato sopra descritto può essere determinato misurando le pressioni $p_4 = p_1$ e $p_3 = p_2$ dietro e davanti la valvola di espansione e la temperatura T_1 davanti al compressore e T_3 davanti alla valvola di espansione.

Nell'esperimento, i componenti sono montati su una pedana e collegati mediante un tubo di rame a formare un sistema chiuso. La disposizione razionale consente una lettura immediata del ciclo termodinamico della pompa di calore. L'evaporatore e il condensatore sono tubi di rame a spirale immersi in due diversi contenitori riempiti con acqua che fungono da serbatoi per la determinazione del calore assorbito o rilasciato. Due grandi manometri indicano i rapporti di pressione del refrigerante nei due scambiatori di calore. Due termometri digitali consentono la misurazione della temperatura nei due contenitori. Per la misurazione delle temperature nei tubi di rame davanti al compressore e alla valvola di espansione vengono impiegati sensori di temperatura con morsetto di misurazione adeguato.

L'efficienza del ciclo idealizzato si calcola dalle entalpie rilevate nel diagramma di Mollier h_1 , h_2 e h_3 :

$$(1) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{cond}}{\Delta w} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)}$$

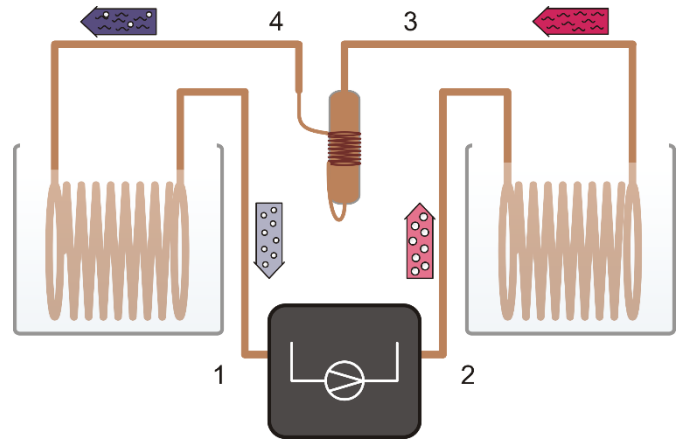


Fig. 2: Rappresentazione schematica della pompa di calore con compressore (1, 2), condensatore (2, 3), valvola di espansione (3, 4) ed evaporatore (4, 1)

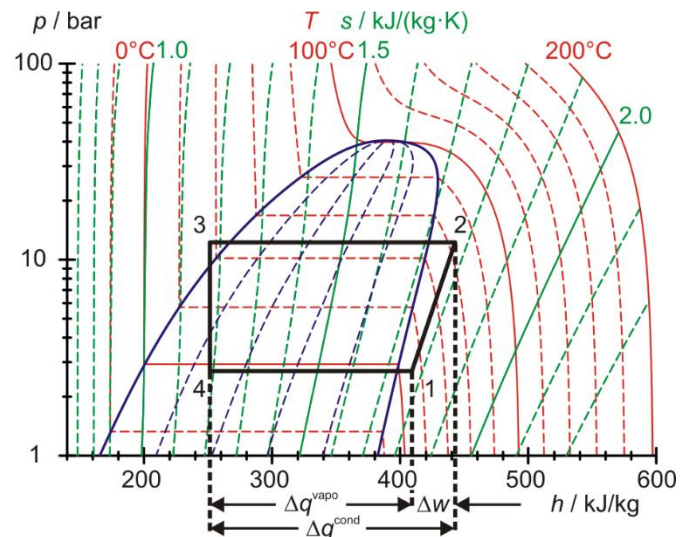


Fig. 3: Rappresentazione del ciclo idealizzato della pompa di calore nel diagramma di Mollier.

Se sono state determinate le entalpie h_2 e h_3 del ciclo idealizzato, nonché la quantità di acqua condotta ΔQ^{cond} al serbatoio di acqua calda per intervallo di tempo Δt , è possibile valutare la corrente di massa del mezzo di lavoro:



$$(2) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{cond}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)}$$

ELENCO DEGLI STRUMENTI



1	Pompa di calore D @230V oppure	1000820 (U8440600-230)
1	Pompa di calore D @115V	1000819 (U8440600-115)
4	Sensore di temperatura NTC a morsetto	1021797 (U8558010)
1	VinciLab	1021477 (UCMA-001)
1	Coach 7, licenza per le università 5 anni	1021524 (UCMA-185U)

MESSA IN SERVIZIO

VinciLab e sensori di temperatura

- Installare il Software Coach 7 sul computer di misurazione.
- Collegare VinciLab al computer, utilizzando il cavo USB.
- Collegare un sensore di temperatura prima del compressore (punto di misurazione 1 in Fig. 2), dietro al compressore (punto di misurazione 2), davanti alla valvola di espansione (punto di misurazione 3) e dietro la valvola di espansione (punto di misurazione 4) sul tubo di rame e negli ingressi analogici A1, A2, A3 e A4 di VinciLab.
- Avviare VinciLab e Coach 7. In Coach 7 cliccare sul pulsante , e nella finestra di "Login" che si aprirà, selezionare il nome utente "Autore" dall'elenco di riepilogo a discesa, inserire la password corrispondente e confermare con OK.
- Cliccare sul pulsante . Si apre una nuova finestra "Impostazioni per le attività" confermare con OK le preselezioni "Tipo attività misurazione" e "Interfaccia: VinciLab".


Il software crea il collegamento a VinciLab. In basso a sinistra delle quattro finestre compare un'immagine di VinciLab con i pittogrammi dei sensori collegati.

- Impostare un tempo di misura di un'ora e una frequenza di misurazione di 30 secondi. Poi cliccare sul pulsante . Specificare come tempo di misura 3600 secondi e come frequenza 2 al minuto, poi confermare con OK.
- Cliccare sul pulsante .

La tabella dei dati (ancora vuota) verrà visualizzata nella finestra in alto a destra. VinciLab e Coach 7 sono configurati e pronti per la misurazione.

Pompa di calore

Indicazioni di sicurezza:

	<ul style="list-style-type: none"> • Prima della messa in funzione della pompa di calore, leggere attentamente e seguire le indicazioni di sicurezza riportate al Capitolo 2 delle istruzioni per l'uso della pompa di calore.
-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Riempire i contenitori dell'acqua con circa 2000 ml di acqua e fissarli alle lamiere di supporto.
- Collegare la pompa di calore alla rete.
- Avviare il compressore e farlo funzionare circa 10 min fino al raggiungimento della temperatura d'esercizio.
- Rabboccare l'acqua e determinare e annotare di volta in volta la massa dell'acqua in entrambi i contenitori dell'acqua.
- Inserire il sensore di temperatura del termometro digitale nei contenitori dell'acqua.

Nota:


L'acqua deve essere a temperatura ambiente (ca. 20 – 25°C); in caso contrario, l'evaporatore si congela durante la misurazione tanto che l'agitatore non può essere più mosso.

ESECUZIONE


Note:

A causa del numero elevato di valori di misurazione da rilevare, si consiglia di eseguire l'esperimento in due persone.

L'acqua all'interno dei contenitori deve essere sempre agitata durante tutto l'esperimento.

- Rilevare i valori delle pressioni sui manometri e le temperature dell'acqua sui termometri digitali della pompa di calore, e annotarli come valori iniziali.
- Non avviare il compressore della pompa di calore, prima di aver avviato la misurazione in Coach 7. A questo scopo, cliccare sul pulsante . Nella tabella di misurazione è visualizzato l'inserimento "0 righe di dati". Trascorsa la frequenza di misurazione specificata di 30 secondi, verrà visualizzato l'inserimento "1 righe di dati" e un pulsante con l'icona "+". Ora, attivare il compressore e cliccare sull'icona "+".

Cliccando sull'icona "+" si apre la tabella ed è possibile visualizzare i valori di misura. Inizialmente, contiene solo la riga per $t = 0$ s con i valori iniziali per le temperature T_1 , T_2 , T_3 e T_4 .

- Quando, dopo 30 secondi, comparirà la seconda riga nella tabella ($t = 30$ s), rilevare e annotare i valori delle pressioni dal manometro, le temperature dell'acqua dal termometro digitale e la potenza del compressore dal monitor energia della pompa di calore.
- Proseguire in questo modo con la misurazione finché si avvierà l'interruttore di protezione da sovrappressione; cliccare sul pulsante  per terminare.
- Nella finestra con la tabella dei dati, cliccare sulla chiave nella barra del titolo. Si aprirà il menu "Misurazioni", selezionare "Esportare file CSV" e confermare con OK. Nella finestra aperta, indicare un nome del file, selezionare una cartella e cliccare su "Salva".

In alternativa, è possibile selezionare i valori di misura (senza intestazioni) nella tabella e, facendo copia e incolla, trasferirli, per esempio in una tabella Excel®.

ESEMPIO DI MISURAZIONE E ANALISI

Massa dell'acqua nell'evaporatore $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vapo}}$: 1,98 kg

Massa dell'acqua nel condensatore $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{cond}}$: 1,98 kg

I dati di misura per le temperature, le pressioni e la potenza del compressore sono riportati nella tabella Excel® in Appendice. Le prime cinque colonne corrispondono al file CSV esportato da Coach 7, con i valori già arrotondati per eccesso/difetto. Le cinque colonne successive sono state completate a posteriori e corrispondono ai valori di misura rilevati manualmente (temperature dell'acqua, pressioni e potenza del compressore). Le pressioni p_3 e p_4 sono già state convertite secondo

$$(3) \quad p_3 = p_{e3} + 1 \text{ bar} \text{ e } p_4 = p_{e4} + 1 \text{ bar}$$

p_{e3} , p_{e4} : sovrappressioni misurate

nelle rispettive pressioni assolute. I valori in grassetto evidenziati in grigio $t = 900$ s e $t = 1020$ s sono utilizzati per calcolare il bilancio di potenze.

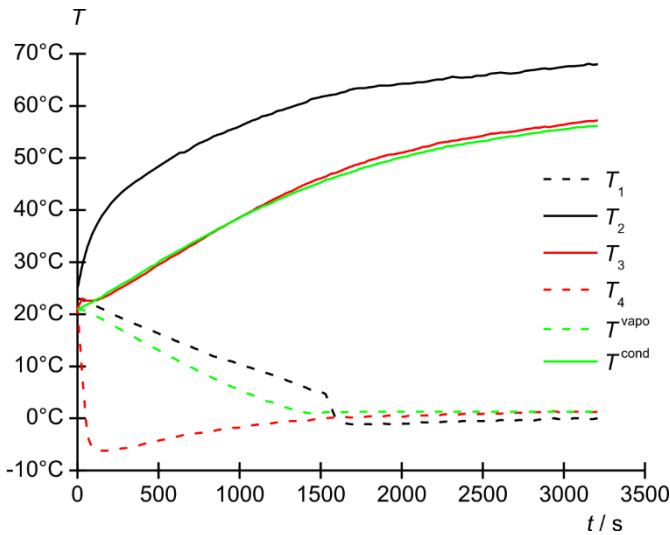


Fig. 4: Andamento temporale delle temperature T_1, T_2, T_3 e T_4 nei punti di misurazione da 1 a 4 e T^{vapo} e T^{cond} del serbatoio di acqua calda e fredda. Nero: compressore, Rosso: valvola di espansione, Verde: serbatoio dell'acqua. Linee tratteggiate: lato caldo, linee tratteggiate: lato freddo.

Andamento delle temperature

- Rappresentare in un diagramma l'andamento temporale delle temperature T_1, T_2, T_3 e T_4 nei punti di misurazione da 1 a 4 e T^{vapo} e T^{cond} del serbatoio di acqua calda e fredda (Fig. 4).

Come previsto, la temperatura T_2 sale a causa del surriscaldamento del mezzo di lavoro per la compressione, e la temperatura T_4 scende tanto, a causa dello strozzamento. Grazie al calore liberato dal raffreddamento del mezzo di lavoro nel condensatore, sale la temperatura T^{cond} del serbatoio dell'acqua. Il calore assorbito dalla completa evaporazione del mezzo di lavoro raffredda il serbatoio dell'acqua e, per questo, scende la temperatura T^{vapo} .

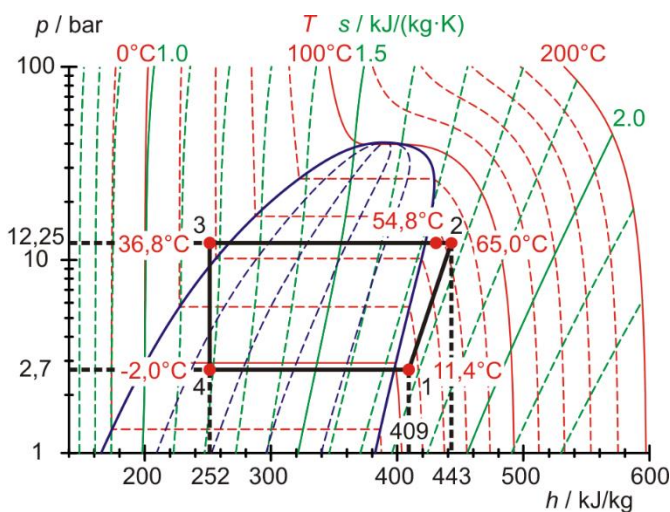


Fig. 5: Rappresentazione del ciclo idealizzato della pompa di calore nel diagramma di Mollier, 15 minuti dopo aver attivato il compressore.

Le temperature T_1 e T_3 dopo l'evaporazione e/o assorbimento di calore del mezzo di lavoro dal serbatoio dell'acqua e dopo la condensazione e/o cessione del calore del mezzo di lavoro al serbatoio dell'acqua, corrispondono alle temperature del serbatoio dell'acqua calda e fredda T^{vapo} e T^{cond} , a prescindere dalle dispersioni di calore soprattutto verso l'ambiente. Dopo circa 25 minuti (1500 s) si gela l'evaporatore tanto che le temperature T_1, T_4 e T^{vapo} non si modificano più in maniera significativa, in seguito all'isolamento termico dei tubi di rame a spirale nello strato di ghiaccio.

Ciclo nel diagramma di Mollier e bilancio di potenze

- Rappresentare in un diagramma di Mollier il ciclo della pompa di calore con i valori di misura rilevati con $t = 900$ s per T_1, T_2, T_3 e T_4 e p_3 e p_4 (Tab. 1, Fig. 5) e leggere i valori delle entalpie specifiche h_1, h_2 e $h_3 = h_4$.

T_1 e $p_4 = p_1$ stabiliscono il Punto 1 nel diagramma di Mollier. Il punto d'intersezione delle isoentropiche corrispondenti con l'orizzontale $p_3 = p_2 = const.$ determina il Punto 2. Il punto d'intersezione delle orizzontali con le isoterme T_3 conduce al Punto 3 e la perpendicolare sull'orizzontale $p_4 = p_1 = const.$ al Punto 4.

Il ciclo corrisponde all'andamento previsto. A causa delle dispersioni di calore nel compressore, la temperatura rilevata T_2 (54,8°C) non corrisponde con le isoentropiche estrapolate (65,0°C).

Dal diagramma di Mollier, è possibile leggere i seguenti valori per le entalpie specifiche:

$$h_1 = 409 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$(4) \quad h_2 = 443 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = 252 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_4$$

Nota:

La misurazione della temperatura T_3 fornisce una panoramica allargata dei processi in corso nella pompa di calore: T_3 non coincide con la temperatura rilevata sulla scala termica del manometro corrispondente. Tale scala termica è basata sulla curva della pressione di vapore del mezzo di lavoro. Dalla misurazione emerge dunque che il mezzo di lavoro davanti alla valvola di espansione non è una miscela di liquido e gas, bensì è completamente liquido.

Coefficiente di prestazione

Secondo l'equazione (1) il coefficiente di prestazione nel caso ideale sarebbe:

$$(5) \quad \varepsilon = \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta W} = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} = \frac{(443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{(443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 5,6$$

Dal riscaldamento del serbatoio di acqua, si ottiene il coefficiente di prestazione:

$$(6) \quad \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\Delta q^{\text{cond}}}{\Delta W} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{P \cdot \Delta t} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{P \cdot \Delta t} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{P \cdot \Delta t} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{116,5 \text{ W} \cdot 120 \text{ s}} = 1,2 \end{aligned}$$

Ossia, si applica $1,2 / 5,6 = 0,21 = 21\%$ della potenza elettrica per la compressione.

Corrente di massa del mezzo di lavoro

Secondo l'equazione (2) vale:

$$(7) \quad \begin{aligned} \frac{\Delta m}{\Delta t} &= \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t} \cdot \frac{1}{(h_2 - h_3)} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s} \cdot (443 - 252) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Potenza del compressore effettiva

$$(8) \quad \begin{aligned} P_{\text{eff}} &= \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = (h_2 - h_1) \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \\ &= (443 - 409) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,72 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 24,5 \text{ W} \end{aligned}$$

In accordo con le osservazioni sul coefficiente di prestazione, sono necessari $24,5 \text{ W} / 116,5 \text{ W} = 0,21 = 21\%$ della potenza elettrica per la compressione.

Bilancio di potenze

La potenza del compressore effettiva deriva dalla quantità di calore apportata ΔQ^{cond} per intervallo di tempo Δt meno la quantità di calore assorbita ΔQ^{vapo} dal serbatoio di acqua per intervallo di tempo Δt :

$$(9) \quad \begin{aligned} \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{cond}}}{\Delta t} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{1020 \text{ s}}^{\text{cond}} - T_{900 \text{ s}}^{\text{cond}})}{\Delta t} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (38,9 - 36,9)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}} \\ &= 138 \text{ W} \end{aligned}$$

$$(10) \quad \begin{aligned} \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T^{\text{vapo}}}{\Delta t} \\ &= \frac{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (T_{900 \text{ s}}^{\text{vapo}} - T_{1020 \text{ s}}^{\text{vapo}})}{\Delta t} \\ &= \frac{1,98 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (6,8 - 5,2)^\circ\text{C}}{120 \text{ s}} \\ &= 111 \text{ W} \end{aligned}$$

Quindi:

$$(11) \quad \begin{aligned} P_{\text{eff}} &= \frac{\Delta Q^{\text{comp}}}{\Delta t} = \frac{\Delta Q^{\text{cond}}}{\Delta t} - \frac{\Delta Q^{\text{vapo}}}{\Delta t} \\ &= 138 \text{ W} - 111 \text{ W} = 27 \text{ W} \end{aligned}$$

In accordo con il valore calcolato pocanzi di 24,5 W.

APPENDICE

Tab. 1: Temperature T_1 , T_2 , T_3 e T_4 nei punti di misurazione da 1 a 4 e T^{vapo} e T^{cond} del serbatoio di acqua calda e fredda, pressioni assolute p_3 e p_4 davanti e dietro la valvola di espansione e potenza del compressore P . Le prime cinque colonne corrispondono al file CSV esportato da Coach 7 e i valori sono stati arrotondati per eccesso/difetto. Le cinque colonne successive sono state completate a posteriori e corrispondono ai valori di misura rilevati manualmente (temperature dell'acqua, pressioni e potenza del compressore).

Tempo	T1	T2	T3	T4	Tvapo	Tcond	p3	p4	P
s	°C	°C	°C	°C	°C	°C	bar	bar	W
0	23,0	25,0	21,2	21,5	20,9	20,9	4,75	4,4	0,0
30	22,8	29,5	23,0	7,7	20,9	21,4	8,75	1,9	97,8
60	22,3	32,9	22,6	-3,4	20,5	21,9	8,75	2,0	101,1
90	21,8	35,4	22,6	-5,7	20,1	22,3	9,00	2,1	102,7
120	21,5	37,3	22,7	-6,2	19,5	22,9	9,00	2,2	103,2
150	21,1	38,9	23,1	-6,2	19,1	23,3	9,00	2,2	104,3
180	20,5	40,2	23,5	-6,2	18,5	24,1	9,25	2,2	105,1
210	20,2	41,4	24,0	-6,1	18,0	24,6	9,50	2,3	105,8
240	19,7	42,4	24,6	-6,0	17,5	25,1	9,50	2,3	106,7
270	19,3	43,3	25,1	-5,8	17,0	25,7	9,50	2,3	106,5
300	18,9	44,1	25,6	-5,7	16,4	26,2	9,75	2,3	107,0
330	18,5	44,8	26,2	-5,5	16,0	26,7	9,75	2,4	107,9
360	18,1	45,5	26,7	-5,3	15,4	27,3	10,00	2,4	108,8
390	17,7	46,1	27,3	-5,1	14,9	28,9	10,00	2,4	108,9
420	17,3	46,8	27,8	-4,8	14,4	28,5	10,00	2,4	109,7
450	16,9	47,4	28,5	-4,6	13,9	29,1	10,25	2,5	110,2
480	16,6	48,0	29,2	-4,4	13,4	29,5	10,50	2,5	110,3
510	16,1	48,6	29,7	-4,2	12,9	30,3	10,50	2,5	111,3
540	15,8	49,2	30,2	-4,0	12,5	30,8	10,50	2,5	111,5
570	15,4	49,8	30,8	-3,8	11,9	31,3	10,75	2,5	111,9
600	15,0	50,4	31,3	-3,6	11,5	31,8	11,00	2,6	112,3
630	14,6	51,0	31,8	-3,4	10,9	32,3	11,00	2,6	112,3
660	14,2	51,1	32,4	-3,1	10,6	32,8	11,00	2,6	113,6
690	13,9	51,6	33,0	-3,1	10,0	33,4	11,25	2,6	113,5
720	13,5	52,3	33,5	-2,9	9,5	33,9	11,50	2,6	114,0
750	13,1	52,8	34,1	-2,8	9,0	34,4	11,50	2,6	114,1
780	12,7	53,2	34,6	-2,7	8,5	34,9	11,75	2,6	115,0
810	12,3	53,6	35,3	-2,5	8,1	35,4	12,00	2,6	115,2
840	11,9	54,2	35,8	-2,4	7,7	35,9	12,00	2,7	115,6
870	11,7	54,5	36,4	-2,2	7,2	36,5	12,00	2,7	116,5
900	11,4	54,8	36,8	-2,0	6,8	36,9	12,25	2,7	116,5
930	11,1	55,3	37,4	-2,0	6,4	37,4	12,50	2,7	117,0
960	10,9	55,6	37,9	-1,8	6,0	37,9	12,50	2,7	117,2
990	10,5	55,9	38,4	-1,8	5,6	38,3	12,50	2,7	117,5
1020	10,1	56,4	38,9	-1,6	5,2	38,9	12,75	2,7	118,7
1050	9,9	56,8	39,4	-1,4	4,8	39,3	13,00	2,8	119,2
1080	9,6	57,2	39,9	-1,3	4,5	39,8	13,00	2,8	118,7
1110	9,4	57,5	40,5	-1,2	4,1	40,2	13,00	2,8	119,6
1140	9,1	58,0	40,9	-1,2	3,6	40,7	13,25	2,8	119,6

1170	8,7	58,2	41,4	-1,0	3,3	41,0	13,50	2,8	120,3
1200	8,4	58,5	41,9	-0,9	3,1	41,4	13,50	2,8	120,2
1230	8,1	59,0	42,4	-0,8	2,7	41,9	13,75	2,8	121,1
1260	7,7	59,2	42,8	-0,7	2,3	42,3	13,75	2,8	121,6
1290	7,3	59,5	43,3	-0,6	2,1	42,7	14,00	2,8	121,7
1320	7,0	59,8	43,6	-0,5	1,8	43,1	14,00	2,8	122,1
1350	6,6	60,1	44,1	-0,5	1,5	43,5	14,00	2,8	122,0
1380	6,3	60,4	44,6	-0,3	1,3	43,9	14,25	2,8	122,8
1410	5,9	60,7	45,0	-0,5	1,1	44,2	14,50	2,8	122,6
1440	5,5	61,6	45,4	-0,3	1,0	44,6	14,50	2,8	122,9
1470	5,1	61,5	45,8	-0,1	1,1	44,9	14,50	2,8	123,2
1500	5,1	61,7	46,1	-0,1	1,1	45,3	14,75	2,8	123,6
1530	4,7	61,9	46,4	0,0	1,2	45,8	14,75	2,9	123,7
1560	2,5	62,1	46,9	0,1	1,2	46,0	15,00	2,9	123,8
1590	0,1	62,2	47,1	0,2	1,2	46,3	15,00	2,9	124,5
1620	-0,6	62,5	47,5	0,2	1,2	46,7	15,00	2,9	124,7
1650	-0,9	62,7	47,9	0,3	1,2	46,9	15,25	2,9	124,9
1680	-1,1	63,1	48,3	0,2	1,3	47,2	15,50	2,9	125,0
1710	-1,2	63,3	48,6	0,1	1,3	47,5	15,50	2,9	125,1
1740	-1,1	63,4	48,9	0,2	1,3	47,9	15,50	2,9	125,4
1770	-1,1	63,4	49,1	0,3	1,3	48,2	15,75	2,9	125,9
1800	-1,1	63,6	49,6	0,4	1,3	48,4	15,75	2,9	126,0
1830	-1,2	63,7	49,8	0,4	1,3	48,7	16,00	2,9	126,0
1860	-1,2	63,9	50,1	0,4	1,3	49,0	16,00	2,9	126,4
1890	-1,0	63,9	50,4	0,4	1,3	49,2	16,00	2,9	126,3
1920	-1,1	63,9	50,6	0,6	1,3	49,4	16,00	2,9	126,6
1950	-1,1	64,0	50,7	0,5	1,3	49,8	16,25	2,9	127,0
1980	-1,1	64,2	50,9	0,6	1,3	50,0	16,25	2,9	127,3
2010	-1,0	64,3	51,1	0,3	1,3	50,2	16,50	2,9	127,2
2040	-1,0	64,3	51,3	0,5	1,3	50,4	16,50	2,9	127,3
2070	-0,8	64,4	51,5	0,7	1,3	50,7	16,50	2,9	127,5
2100	-0,7	64,5	51,8	0,6	1,3	50,9	16,50	2,9	127,7
2130	-0,8	64,5	52,1	0,6	1,3	51,1	16,75	2,9	128,0
2160	-0,8	64,7	52,2	0,6	1,3	51,3	16,75	2,9	128,6
2190	-0,8	64,9	52,5	0,6	1,3	51,5	17,00	2,9	128,6
2220	-0,8	65,1	52,8	0,6	1,3	51,8	17,00	3,0	128,8
2250	-0,7	65,1	53,0	0,7	1,3	51,9	17,00	3,0	128,9
2280	-0,6	65,3	53,1	0,8	1,3	52,3	17,00	3,0	128,9
2310	-0,5	65,6	53,3	0,8	1,3	52,3	17,00	3,0	129,0
2340	-0,7	65,5	53,4	0,7	1,3	52,5	17,00	3,0	129,2
2370	-0,5	65,4	53,6	0,8	1,3	52,6	17,50	3,0	129,4
2400	-0,5	65,5	53,7	0,9	1,3	52,8	17,50	3,0	129,8
2430	-0,4	65,5	53,9	0,8	1,3	52,9	17,25	3,0	129,4
2460	-0,5	65,8	54,0	0,8	1,3	53,1	17,50	3,0	129,9
2490	-0,5	65,8	54,2	0,8	1,3	53,2	17,50	3,0	130,0
2520	-0,5	65,9	54,4	1,0	1,3	53,3	17,50	3,0	130,1

2550	-0,5	66,2	54,7	1,0	1,3	53,5	17,50	3,0	130,5
2580	-0,5	66,3	54,7	0,9	1,3	53,7	17,50	3,0	130,1
2610	-0,3	66,4	54,9	0,9	1,3	53,9	17,75	3,0	130,6
2640	-0,4	66,3	54,9	1,0	1,3	54,0	17,75	3,0	130,5
2670	-0,5	66,2	55,0	1,1	1,3	54,2	17,75	3,0	130,8
2700	-0,4	66,3	55,1	1,1	1,3	54,2	18,00	3,0	130,8
2730	-0,3	66,4	55,3	1,1	1,3	54,3	18,00	3,0	130,8
2760	-0,4	66,7	55,5	1,1	1,3	54,5	18,00	3,0	131,5
2790	-0,4	66,8	55,6	1,2	1,3	54,7	18,00	3,0	131,5
2820	-0,4	66,9	55,8	1,2	1,3	54,8	18,00	3,0	130,8
2850	-0,2	67,1	55,8	1,2	1,3	54,9	18,00	3,0	131,7
2880	-0,1	67,2	56,0	1,2	1,3	55,1	18,00	3,0	131,8
2910	-0,1	67,1	55,9	1,2	1,3	55,2	18,25	3,0	131,5
2940	0,0	67,2	56,1	1,4	1,3	55,3	18,25	3,0	131,9
2970	-0,1	67,4	56,3	1,2	1,3	55,4	18,25	3,0	132,1
3000	-0,1	67,5	56,4	1,2	1,3	55,5	18,50	3,0	132,3
3030	-0,1	67,6	56,6	1,1	1,3	55,6	18,50	3,0	132,5
3060	0,0	67,6	56,7	1,3	1,3	55,8	18,50	3,0	132,4
3090	0,0	67,7	56,8	1,3	1,3	55,9	18,50	3,0	132,5
3120	0,1	67,8	57,0	1,2	1,3	55,9	18,50	3,0	132,3
3150	-0,1	68,1	57,1	1,2	1,3	56,1	18,50	3,0	132,4
3180	-0,1	67,9	57,1	1,2	1,3	56,1	18,50	3,0	132,6
3210	0,0	68,0	57,2	1,3	1,3	56,2	18,50	3,0	133,2