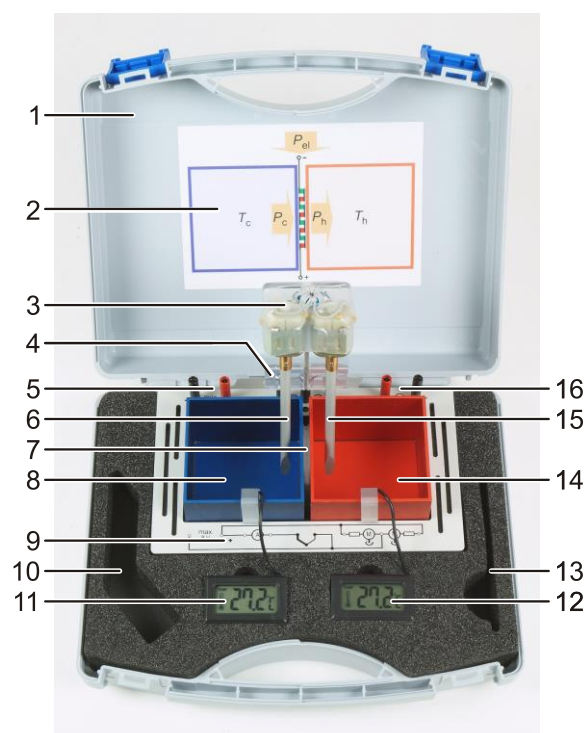


Pompa di calore a effetto Peltier 1020769

Istruzioni per l'uso

05/17 TL/JS



- 1 Valigetta da trasporto
- 2 Rappresentazione schematica
- 3 Unità di miscelazione
- 4 Attacco per unità di miscelazione
- 5 Attacco per alimentazione di tensione
- 6 Bacchetta di miscelazione "lato freddo"
- 7 Elemento di Peltier
- 8 Serbatoio "lato freddo"
- 9 Schema di collegamento
- 10 Incavo per alloggiamento unità di miscelazione
- 11 Termometro digitale "lato freddo"
- 12 Termometro digitale "lato caldo"
- 13 In cavo per alloggiamento bacchetta di miscelazione
- 14 Serbatoio "lato caldo"
- 15 Bacchetta di miscelazione "lato caldo"
- 16 Attacco per misurazione corrente (corrente di esercizio che attraversa l'elemento di Peltier)

1. Norme di sicurezza

Un utilizzo conforme garantisce il funzionamento sicuro della pompa di calore a effetto Peltier. La sicurezza non è tuttavia garantita se l'apparecchio non viene utilizzato in modo appropriato o non viene trattato con cura.

- Utilizzare la pompa di calore esclusivamente con tensione continua compresa tra 5 e 8 V.
- Non utilizzare la pompa di calore a secco o con un livello di riempimento eccessivamente basso.
- Lasciare asciugare la pompa di calore dopo l'uso.

2. Descrizione

La pompa di calore a effetto Peltier è un modello funzionale con due serbatoi d'acqua in alluminio, accoppiati termicamente alle superfici di un elemento di Peltier. Il passaggio della corrente elettrica attraverso l'elemento di Peltier genera un trasferimento di calore tra i serbatoi che porta al raffreddamento di un lato e al riscaldamento dell'altro. In entrambi i serbatoi d'acqua, un agitatore elettrico provvede ad una distribuzione uniforme della temperatura. Due termometri digitali mostrano le due temperature dell'acqua. Essendo nota la capacità termica del sistema, è possibile determinare la capacità frigorifera e la potenza termica ed eseguire un confronto con la potenza elettrica fornita.

3. Dati tecnici

Elemento di Peltier:

Tensione di allacciamento:	5 ... 8 V
Assorbimento di corrente a 8 V:	2,5 ... 3,5 A
Superficie:	40 x 40 mm ²
Spessore:	3,7 mm
Coefficiente di Seebeck S:	ca. 0,04 V/K
Resistenza ohmica R:	ca. 2,4 Ω
Coefficiente di conducibilità termica κ:	ca. 0,2 W/K

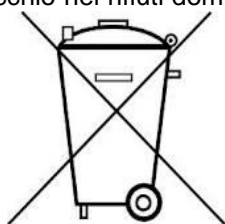
Serbatoi dell'acqua:

Peso di un serbatoio vuoto:	105 g
Capacità termica di un serbatoio vuoto:	0,094 J/K
Carico d'acqua:	200 ml
Capacità termica del carico d'acqua:	0,836 J/K
Capacità termica di un serbatoio pieno:	0,930 J/K
Coefficiente di scambio termico α:	0,7 ... 0,8 W/K

Dimensioni complessive:	244 x 160 x 70 mm ³
Peso totale:	920 g

4. Conservazione, pulizia, smaltimento

- Conservare l'apparecchio in un luogo pulito, asciutto e privo di polvere.
- Prima della pulizia, scollegare l'apparecchio dall'alimentazione elettrica.
- Non impiegare detersivi o soluzioni aggressive per la pulizia.
- Per la pulizia utilizzare un panno morbido e umido.
- Smaltire l'imballo presso i centri di raccolta e riciclaggio locali.
- Non gettare l'apparecchio nei rifiuti domestici. Nel caso di utilizzo in ambiente domestico, conferire presso gli enti pubblici locali autorizzati alle attività di recupero o smaltimento.
- Rispettare le disposizioni vigenti per lo smaltimento delle apparecchiature elettriche.



5. Messa in servizio

Dotazione supplementare necessaria:

1 alimentatore DC 20 V, 5 A con 230V	1003312
oppure	
1 alimentatore DC 20 V, 5 A con 115V	1003311
1 multimetro digitale	1018832
2 coppie di cavi di sicurezza per esperimenti	1017718



Fig. 1: Allineamento del sensore di temperatura

- Per mettere in funzione i termometri digitali inserire le batterie.
- Posizionare i sensori di temperatura nei due serbatoi come mostrato nella figura 1.



Fig. 2: Unità di miscelazione collegata con bacchette di miscelazione inserite

- Estrarre le bacchette e l'unità di miscelazione dalla valigetta per il trasporto.
- Inserire le bacchette di miscelazione con attacco sugli alberi motore.
- Collegare l'unità di miscelazione alla presa tripla centrale.

Nota: l'unità di miscelazione entra in funzione applicando la tensione di alimentazione alla coppia di jack a sinistra. L'elemento di Peltier, invece, si attiva solo ponticellando la coppia di jack a destra o collegando un amperometro.

- Versare 200 ml di acqua.
- Collegare l'alimentazione di tensione per mettere in funzione l'agitatore e per garantire una ripartizione uniforme della temperatura.

5. Esperimenti

5.1 Funzionamento simmetrico come pompa di calore

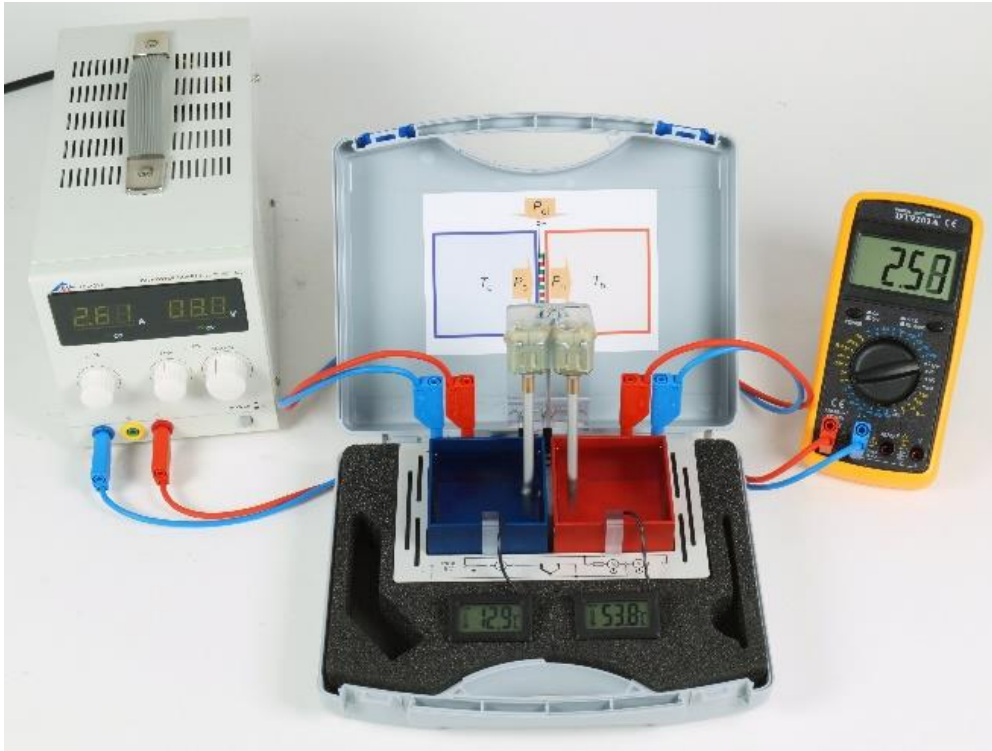


Fig. 3: Struttura sperimentale

- Annotare la temperatura iniziale nei due recipienti.
- Disconnettere l'alimentazione di tensione e collegare il multimetro digitale come amperometro (range di misura fino a 10 A).
- Accendere l'alimentazione e impostare una tensione compresa tra 6 V e 8 V.
- Avviare il cronometro.
- Ogni 30 s annotare le temperature T_c e T_h presenti nei due serbatoi, come anche l'intensità di corrente I .

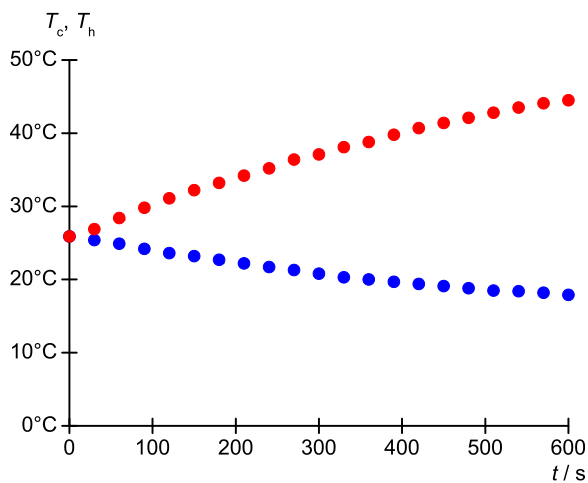


Fig. 4: Andamento temporale delle temperature nei due serbatoi con funzionamento simmetrico

Possibili analisi:

Determinazione della potenza termica, della capacità frigorifera e della potenza elettrica.

Determinazione dei coefficienti di prestazione (Coefficients of Performance)

Dipendenza della corrente dalla differenza di temperatura a tensione di alimentazione costante.

Determinazione della resistenza ohmica e del coefficiente di Seebeck.

Analisi dell'andamento della temperatura come funzione del tempo.

Calcolo delle percentuali dell'effetto Peltier, delle perdite di Joule e del riflusso di calore in base agli andamenti della temperatura.

5.2 Misurazione dell'andamento della temperatura e della tensione termica dopo aver spento la pompa



Fig. 5 Struttura sperimentale

- Rimuovere il multimetro che funge da amperometro, in modo tale da interrompere il flusso di corrente che attraversa l'elemento di Peltier e utilizzarlo come voltmetro per la misurazione della tensione termica.
- Continuare ad utilizzare l'agitatore lasciando accesa l'alimentazione.
- Ogni 30 s annotare le temperature T_c e T_h presenti nei due serbatoi come anche la tensione termica U .

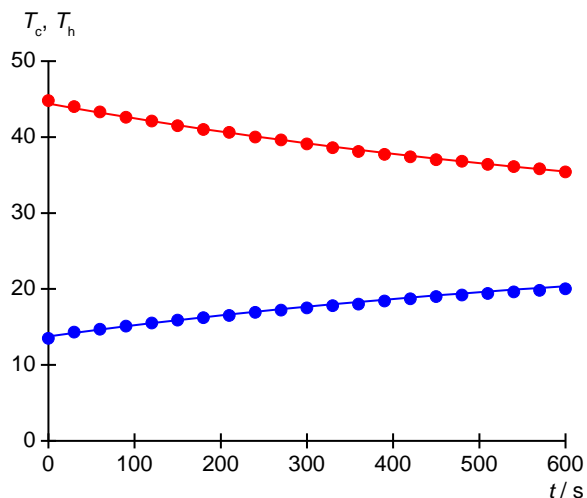


Fig. 6: Andamento temporale delle temperature nei due serbatoi dopo aver spento la pompa di calore

Possibili analisi:

Rappresentazione della tensione termica come funzione della differenza di temperatura.

Determinazione dei coefficienti di Seebeck.

Rappresentazione del valore medio calcolato da T_c e T_h come funzione del tempo e determinazione del coefficiente di scambio termico α .

Rappresentazione della differenza di temperatura come funzione del tempo e determinazione del coefficiente di conducibilità termica κ .

Nota: per la determinazione del coefficiente di conducibilità termica e del coefficiente di scambio termico è indispensabile eseguire le misurazioni fino al raggiungimento della temperatura ambiente.

5.3 Funzionamento asimmetrico

Nel funzionamento asimmetrico, il serbatoio sul lato caldo viene riempito con acqua ghiacciata per mantenere costante la sua temperatura. L'acqua nel serbatoio freddo viene raffreddata a partire da una temperatura iniziale.

6. Analisi

6.1 Determinazione della potenza calorifica, della potenza frigorifera e dell'energia elettrica

Tab. 1: Esempio di misurazione

t	T_c	T_h	I	U
0	25,6 °C	25,6 °C	3,2 A	7,62 V
120	23,0 °C	31,2 °C	3,2 A	8,06 V

Potenza calorifica:

$$P_h = C \cdot \frac{dT_h}{dt} = 930 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \frac{31,2 - 25,6 \text{ K}}{120 \text{ s}} = 43,4 \text{ W}$$

Potenza frigorifera:

$$P_c = C \cdot \frac{dT_c}{dt} = 930 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot \frac{23,0 - 25,6 \text{ K}}{120 \text{ s}} = -20,2 \text{ W}$$

Potenza elettrica:

$$P_{el} = U \cdot I = 3,2 \text{ A} \cdot \frac{7,62 + 8,06}{2} \text{ V} = 25,1 \text{ W}$$

Coefficienti di prestazione:

$$\text{COP}_h = \frac{P_h}{P_{el}} = \frac{43,4 \text{ W}}{25,2 \text{ W}} = 1,73$$

$$\text{COP}_c = \frac{P_c}{P_{el}} = \frac{-20,2 \text{ W}}{25,2 \text{ W}} = -0,80$$

$$\text{COP}_h + \text{COP}_c = 0,93$$

Nota: i coefficienti di prestazione dipendono sia dalla corrente I sia dalla differenza di temperatura ΔT .

6.2 Tensione termica come funzione della differenza di temperatura

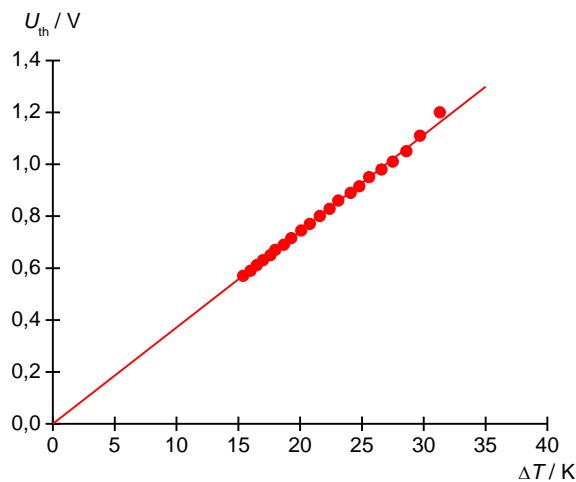


Fig. 7: Tensione termica misurata nella fase di attenuazione come funzione della differenza di temperatura

La tensione termica U_{th} tra i due contatti dell'elemento di Peltier dipende in modo lineare dalla differenza di temperatura. Può essere misurata quando non scorre la corrente I :

$$U_{th} = S \cdot (T_h - T_c) = S \cdot \Delta T$$

S : coefficiente di Seebeck dell'elemento di Peltier

6.3 Tensione d'esercizio come funzione della differenza di temperatura

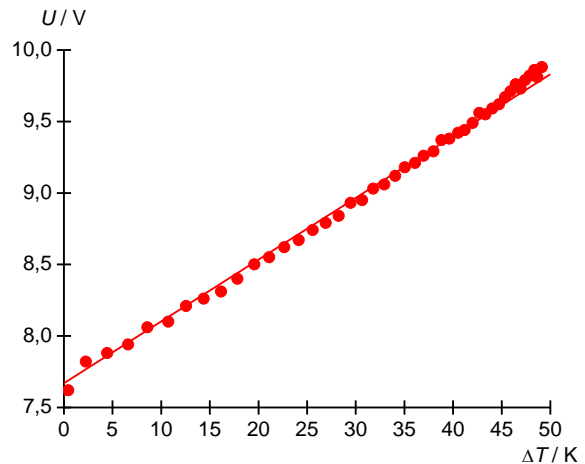


Fig. 8 Corrente di esercizio costante misurata nella fase di pompaggio come funzione della differenza di temperatura

Per generare la corrente I sull'elemento di Peltier deve essere presente una tensione

$$U_0 = R \cdot I + S \cdot \Delta T$$

R : resistenza termica dell'elemento di Peltier

oppure deve essere applicata la potenza

$$P_{el} = U_0 \cdot I = R \cdot I^2 + S \cdot \Delta T \cdot I$$

elettrica. È quindi determinante se l'alimentazione elettrica avviene nella "modalità a corrente costante" o nella "modalità a tensione costante".

6.4 Descrizione degli andamenti della temperatura durante la fase di pompaggio e la fase di attenuazione

Se l'elemento di Peltier è attraversato da una corrente elettrica I , il suo lato freddo assorbe calore Q_c dal serbatoio accoppiato e il suo lato caldo cede calore Q_h al serbatoio accoppiato.

Per le rispettive potenze vale

$$P_h = \frac{dQ_h}{dt} = S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \kappa \cdot (T_h - T_c)$$

$$P_c = \frac{dQ_c}{dt} = -S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 + \kappa \cdot (T_h - T_c)$$

S : coefficiente di Seebeck

R : resistenza ohmica,

κ : coefficiente di conducibilità termica

Qui il primo termine descrive l'effetto Peltier, il secondo termine le perdite ohmiche, cedute uniformemente ai due serbatoi sotto forma di calore Joule, e il terzo termine il "ri"flusso di calore attraverso l'elemento Peltier.

Nella pratica occorre tenere conto anche della cessione di calore nell'ambiente e/o dell'assorbimento di calore dall'ambiente. Con buona approssimazione si ottiene

$$P_{h \rightarrow 0} = \frac{dQ_{h \rightarrow 0}}{dt} = \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$P_{c \rightarrow 0} = \frac{dQ_{c \rightarrow 0}}{dt} = \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

T_0 : temperatura ambiente

α : coefficiente di scambio termico

La cessione e l'assorbimento di calore si manifesta come variazione della temperatura nei serbatoi accoppiati. Nel complesso valgono le equazioni differenziali

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} =$$

$$S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} =$$

$$-S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 + \kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

Fase iniziale:

Il sistema si avvia nei due serbatoi a temperatura ambiente, la conducibilità termica e il passaggio di calore non hanno alcun ruolo nella fase iniziale. Pertanto per la fase iniziale vale:

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} = S \cdot I \cdot T_h + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} = -S \cdot I \cdot T_c + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2$$

Invertendo la polarità della corrente, ha luogo uno scambio di ruolo tra i serbatoi. La temperatura del serbatoio a destra diminuisce, quella del serbatoio a sinistra aumenta.

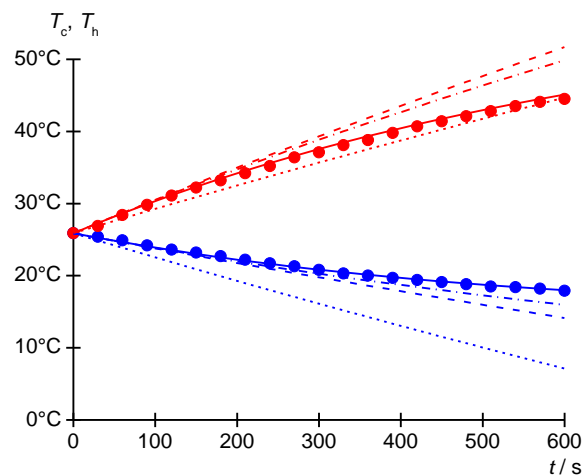


Fig. 9: Andamento della temperatura misurato e calcolato nella fase di pompaggio

- - - -: Influsso dell'effetto Peltier
- - - -: Influsso dell'effetto Peltier e del calore Joule
- . . -: Considerazione della conducibilità termica
- : Considerazione della conducibilità termica e del passaggio di calore nell'ambiente

Fase di attenuazione:

Interrompendo il flusso di corrente e disattivando quindi la funzione di pompaggio dell'elemento Peltier, le temperature nei due serbatoi si attenuano rispetto alla temperatura ambiente.

Dal punto di vista matematico vale

$$C \cdot \frac{dT_h}{dt} = -\kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_h - T_0)$$

$$C \cdot \frac{dT_c}{dt} = +\kappa \cdot (T_h - T_c) - \alpha \cdot (T_c - T_0)$$

o convertito

$$C \cdot \frac{d\Delta T}{dt} = -(2 \cdot \kappa + \alpha) \cdot \Delta T \text{ con } \Delta T = T_h - T_c$$

$$C \cdot \frac{dT_m}{dt} = -\alpha \cdot (T_m - T_0) \text{ con } T_m = \frac{T_h + T_c}{2}$$

Per determinare i coefficienti κ e α è quindi opportuno considerare l'attenuazione della differenza di temperatura ΔT e del valore medio T_m .