

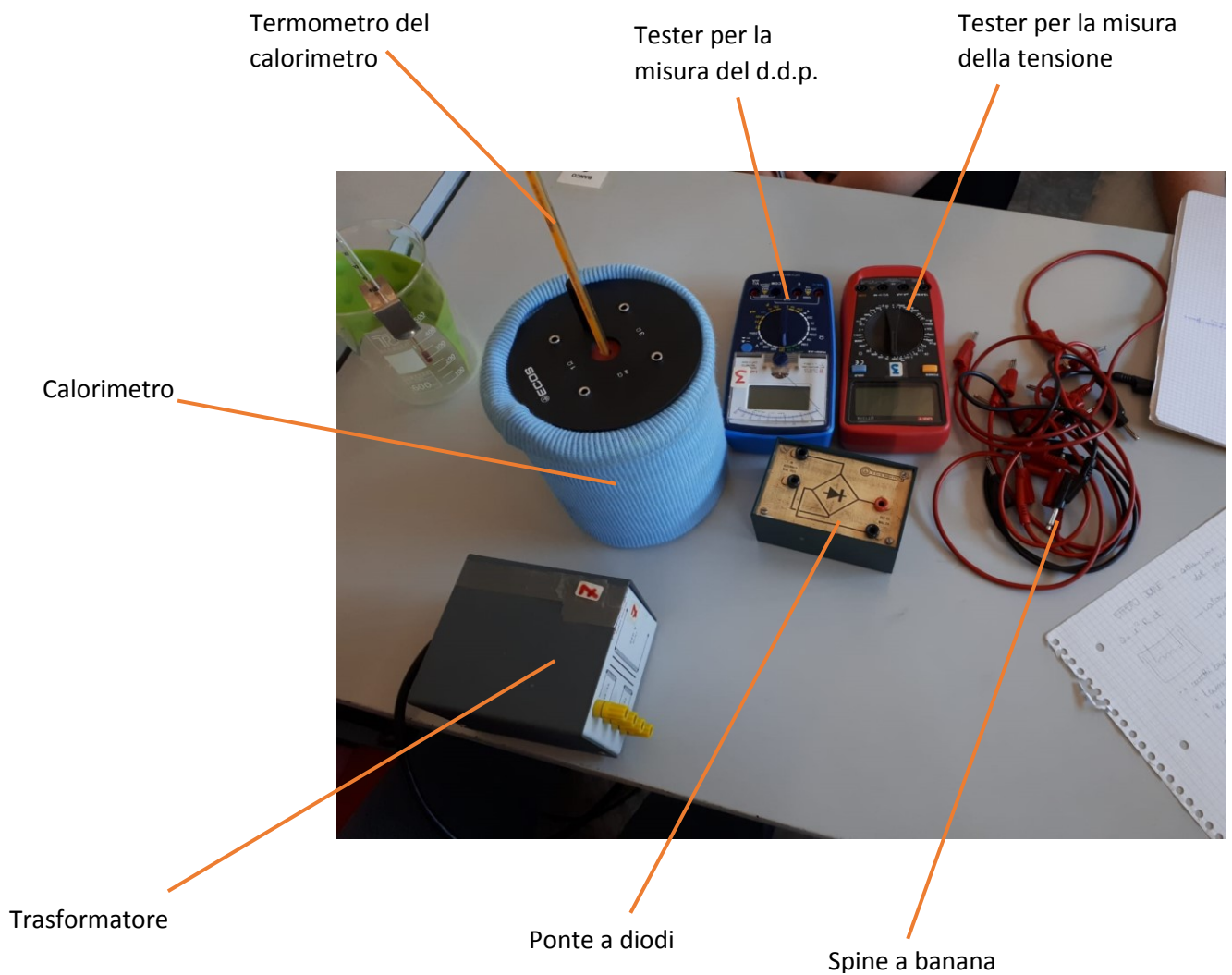
L'EFFETTO JOULE

SCOPO DELL'ESPERIENZA:

Verificare qualitativamente e quantitativamente la legge di Joule $Q = i^2 R \Delta t$

MATERIALI UTILIZZATI:

- Trasformatore
- Ponte a diodi
- Spine a banana
- Resistore
- Calorimetro
- 2 tester
- Cilindro graduato
- Cronometro
- 500 cm³ di acqua



PREMESSA TEORICA:

È detto **effetto Joule**, dal nome del fisico inglese James Prescott Joule che lo scoprì fra il 1818 e il 1889, il fenomeno per cui il passaggio di corrente elettrica attraverso un conduttore, e pertanto all'interno di un circuito, è accompagnato dallo sviluppo di calore.

Un circuito elettrico è un insieme di apparecchi elettrici e di loro collegamenti, destinato ad essere percorso da corrente elettrica. È composto essenzialmente da elementi attivi, ossia il generatore di energia, nel nostro caso il trasformatore e il ponte a diodi, che trasforma la corrente di rete, alternata (ca), in continua (cc), avente quindi un polo positivo e un polo negativo fissi e non soggetti ad un continuo alternarsi, elementi passivi, di cui fanno parte i resistori, e conduttori di connessione, ovvero le spine a banana, utilizzate per la realizzazione del circuito, fulcro dell'esperienza. Tale circuito chiuso è percorso da una corrente elettrica, il cui fluire è causato dalla differenza di potenziale, anche detta tensione e misurata in volt (V), esistente fra gli estremi del circuito stesso, che provoca un movimento spontaneo dal punto a potenziale maggiore a quello a potenziale minore dando vita, appunto, a una corrente elettrica.

La **differenza di potenziale** è quindi la differenza di energia potenziale elettrica presente tra due punti carichi nello spazio, come ad esempio gli estremi di una batteria, in quanto risultano essere sorgenti di un campo elettrico. Infatti quando una carica q è immersa in un campo elettrico generato da altre cariche essa tende a compiere un lavoro per il solo fatto di essere immersa in questo campo, muovendosi spontaneamente verso l'estremo a potenziale minore al fine di cercare di ripristinare un equilibrio. Tale propensione prende il nome di energia potenziale e provoca un flusso di elettroni, che scorrono all'interno del circuito, denominato corrente. La **corrente elettrica** I , misurata in ampere (A), è quindi la quantità di carica Q , data dall'energia di tutti gli elettroni presenti, che attraversa una sezione trasversale di un conduttore in un'unità di tempo Δt e segue quindi l'equazione $I = Q \Delta t$.

Tuttavia, il fluire della corrente non è del tutto libero poiché gli elettroni che scorrono all'interno del filo conduttore devono compiere una certa fatica, dovuta al fatto che essi devono passare fra le particelle del corpo. Infatti, scorrendo, urtano ripetutamente contro gli atomi che costituiscono il conduttore, dai quali non vengono però attirati poiché gli elettroni che li circondano ne schermano i protoni contenuti nel nucleo; il loro passaggio non è quindi completamente privo di ostacoli, ma risulta essere soggetto ad una **resistenza** R che esprime l'opposizione esercitata da un corpo al passaggio della corrente ed è espressa, nella prima legge di Ohm, dalla relazione $V = RI$.

Tuttavia lo scorrere della corrente, e ancor di più lo scorrere negli utilizzatori, resistori per definizione, posti in serie all'interno del circuito, provoca una dispersione di energia, dissipata sotto forma di calore nell'ambiente circostante. Essa prende il nome di **potenza dissipata**, espressa in Watt (W), e regolata dalla seguente formula, in cui P indica la potenza dissipata da un resistore percorso da corrente di intensità I e ai cui estremi è applicata una differenza di potenziale ΔV :

$$P = \Delta V I$$

Ma, poiché la differenza di potenziale è anche uguale a $\Delta V = R I$ per la prima legge di Ohm, allora la formula della potenza dissipata può essere riscritta come:

$$P = R I^2$$

La quantità di energia elettrica che viene trasferita al resistore nell'intervallo di tempo Δt è quindi è pari a $R I^2 \Delta t$. Se tutta questa energia viene trasformata in calore, si ricava la quantità di calore Q prodotto da un conduttore di resistenza R , attraversato da una corrente I , nell'intervallo di tempo Δt :

$$Q = R I^2 \Delta t$$

Tuttavia il calore Q prodotto dalla resistenza e dissipato durante il corso dell'esperienza non viene disperso nell'ambiente in quanto al fine di verificare la legge di Joule è stato utilizzato un calorimetro, letteralmente misuratore di calore, ossia uno strumento che permette di calcolare il calore specifico di una sostanza qualsiasi. Si tratta di un contenitore normalmente riempito di acqua le cui pareti, in quanto adiabatiche, impediscono che vi siano scambi di calore, evitando così la naturale dispersione dell'energia, tra l'ambiente e il sistema, ossia il calorimetro e tutto ciò che contiene.

Nel nostro caso (fig. 1), le pareti adiabatiche sono state ottenute utilizzando due diversi cilindri cavi, sprovvisti dell'area di base superiore e costituiti da due sottili fogli di metallo, separati da uno strato d'aria; all'interno del primo cilindro viene quindi inserita l'acqua mentre, per limitare ulteriormente la dispersione di calore, il cilindro più esterno è poi ulteriormente ricoperto da una maglia in lana.

Pareti in metallo separato
da uno strato d'aria

Maglia esterna
in lana



Figura 1



Figura 2

termometro

boccole

In questo modo il calore prodotto dal passaggio della corrente, reso possibile dalle boccole (fig.2) poste sul coperchio del calorimetro che permettono di inserirlo in serie all'interno del circuito rendendolo quindi un resistore, e dissipato viene assorbito dall'acqua che ne sfrutta l'energia ed incrementa la propria temperatura secondo la formula $Q = m c \Delta t^\circ$, dove m indica la massa dell'acqua, c il suo calore specifico e Δt° l'incremento di temperatura che l'energia dissipata dalla resistenza, e quindi fornita all'acqua, si registra. In questo modo, misurando la differenza di temperatura dell'acqua, grazie al termometro già presente nel coperchio del calorimetro (fig.2), prima e dopo il passaggio della corrente è possibile ricavare il calore prodotto dall'effetto Joule, in quanto sia il calore specifico sia la massa dell'acqua sono noti.

Le due formule, in quanto entrambe relative alla medesima Q , infatti il calore dissipato Q dalla resistenza viene poi in toto riassorbito dall'acqua, possono essere messe in relazione fra loro come segue:

$$Q_{dissipato} = Q_{assorbito}$$

$$R I^2 \Delta t = m c \Delta t^\circ$$

E visto che la resistenza R è anche uguale a $R = \Delta V / I$ per la prima legge di Ohm, allora

$$I \Delta V \Delta t = m c \Delta t^\circ$$

Da tale formula si può quindi facilmente dedurre che l'aumento della temperatura dell'acqua, che avviene in seguito all'assorbimento dell'energia dissipata dal resistore, è direttamente proporzionale al tempo, rendendoli quindi rappresentabili su di un grafico temperatura-tempo da una semiretta uscente dall'origine.

ESECUZIONE DELL'ESPERIENZA:

Come prima cosa è necessario, dopo aver raccolto il materiale necessario, realizzare il circuito (fig.4) secondo il preciso schema circuitale fornito (fig.3). Come prima cosa, si dovranno inserire due cavi nelle uscite da 6.3 V del trasformatore tramite due spine a banana che porteranno l'una la corrente al ponte a diodi, che inizierà a scorrere nel circuito solo alla fine, quando si inserirà la spina del trasformatore nella presa da 220 V, ossia la corrente di rete, la cui tensione verrà opportunamente abbassata dal trasformatore prima di poterne usufruire per l'esecuzione dell'esperienza in quanto il circuito realizzato non reggerebbe valori troppo elevati, e l'altra invece alla boccia d'uscita del calorimetro, così da chiudere il circuito. Il secondo elemento, il ponte a diodi, presenta quattro boccole e, per poter determinare le entrate e le uscite, occorrerà tenere a mente che la punta della freccia rappresentata sulla facciata superiore dell'apparecchio dovrà sempre essere indirizzata verso il circuito e quindi opposta al verso da cui viene la corrente. Fatto ciò, ossia dopo aver inserito la spina a banana proveniente dal trasformatore nella boccia d'entrata, occorrerà inserire il cavetto in uscita che andrà successivamente inserito nel tester, nel nostro caso quello rosso, che, in quanto messo in serie all'interno del circuito, fungerà da amperometro, misurando la corrente presente all'interno del circuito. Tuttavia, affinché il tester sia effettivamente messo in serie sarà necessario far poi partire da quest'ultimo un ulteriore cavetto (in figura quello rosso) che verrà poi collegato con il calorimetro tramite la boccia d'entrata posta sul coperchio e, poiché ne sono presenti più di una, sarà anche possibile, cambiando boccia, ripetere le misurazioni variando il valore della resistenza del resistore. Infine, sarà necessario inserire altre due spine a banana nei due cavetti inseriti nelle boccole dal calorimetro: tali cavetti presenteranno ciascuno un'estremità inserita nell'estremità della spina inserita nella boccia del calorimetro e l'altra nel tester, in questo caso nero, così da porlo in parallelo e utilizzarlo quindi come voltmetro, misurando il d.d.p. del circuito.

Realizzato il circuito occorrerà quindi inserire i 500 cm^3 di acqua nel cilindro interno del calorimetro e, dopo aver aspettato che abbia termalizzato, misurarne la temperatura. A questo punto, munitisi di cronometro e

Figura 3

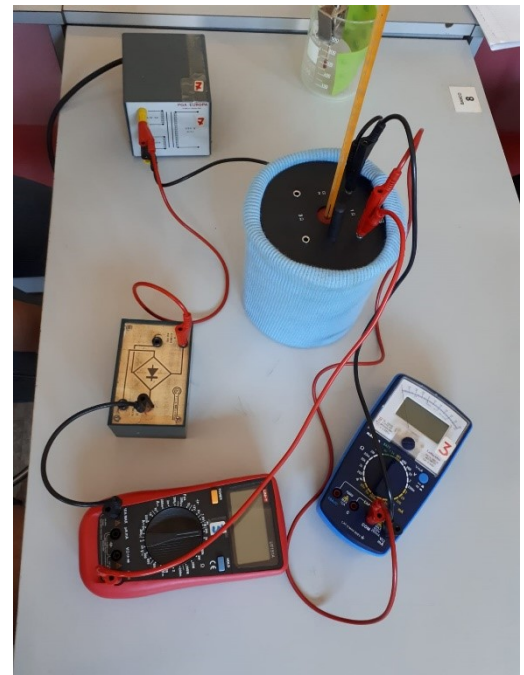


Figura 4

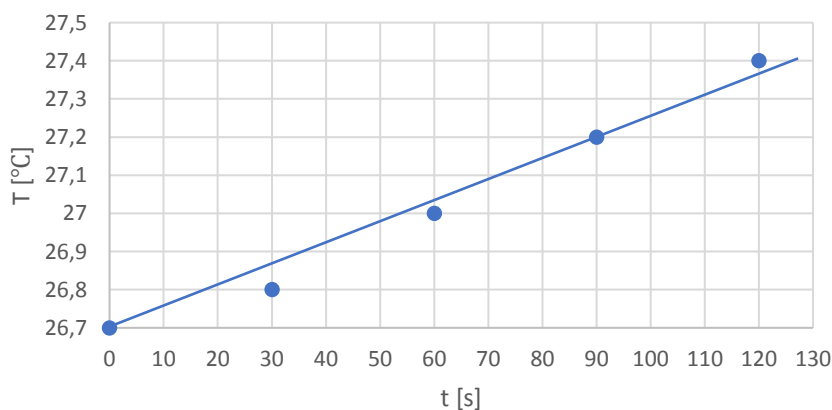
inserita la spina del trasformatore nella presa da 220 V, si potranno effettuare le varie misurazioni, utilizzando prima una resistenza di 1 Ω e, nella seconda serie di misurazioni, 3 Ω . Per ciascuno dei due valori di resistenza occorrerà registrare la corrente, misurata dal tester messo in serie (ossia quello rosso) con scala 10 A, la differenza di potenziale, misurata dal tester messo in parallelo (ossia quello blu) con scala 20 V, e i valori della temperatura dell'acqua presi ogni 30 secondi, intervallo durante il quale la temperatura varierà in relazione al calore Q assorbito dall'acqua, rendendo quindi necessario miscelarla continuamente, anche se si verificheranno comunque delle dispersioni, dovute principalmente all'isolamento termico non perfetto dello strumento, all'errore umano, al lasso di tempo molto breve e alla difficoltà di avere una temperatura omogenea in ogni parte del liquido. Ottenuti i dati necessari si potrà quindi passare alla verifica dapprima qualitativa e poi quantitativa della legge di Joule. La prima verifica si otterrà rappresentando i dati ottenuti relativi alla temperatura e al tempo su di un grafico temperatura-tempo e verificando che essi siano legati da un rapporto di proporzionalità diretta, ossia che la loro rappresentazione su di un grafico sia, tenendo conto degli errori, una semiretta uscente dall'origine; la seconda verifica, ossia quella quantitativa, si otterrà calcolando, per ciascun dato, il calore assorbito dalla massa d'acqua utilizzando la formula $Q = m c \Delta t^\circ$ e il calore dissipato dal resistore tramite la formula $Q = I \Delta V \Delta t$ e verificando che le due Q medie presentino il medesimo valore.

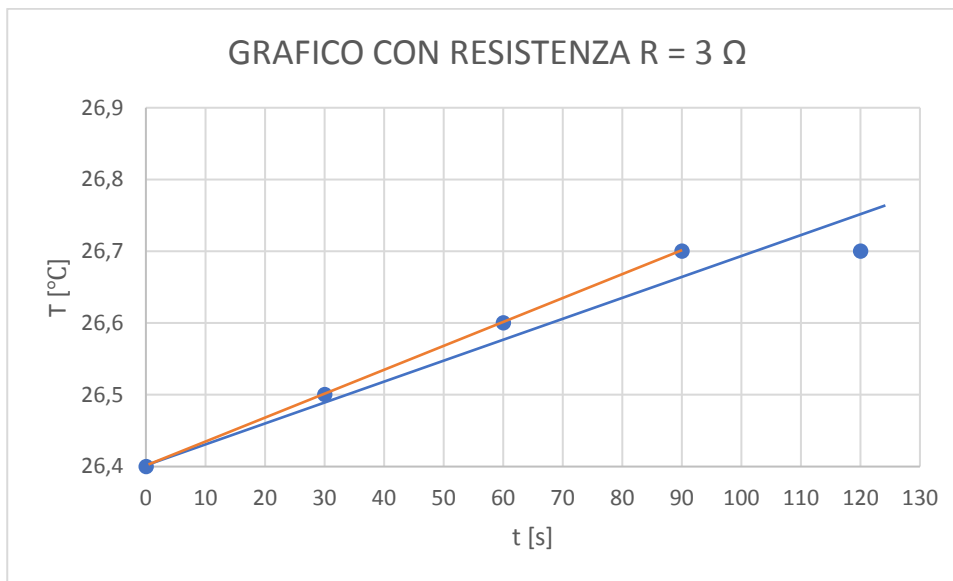
DATI ED ELABORAZIONE:DENSITA' DELL'ACQUA: $\rho = 1.00 \text{ g/cm}^3$ CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA: $c = 4186 \text{ J/ (Kg }^\circ\text{C)}$ **MISURAZIONE CON RESISTENZA R = 1 Ω** CORRENTE: $I = 5.87 \text{ A}$ DIFFERENZA DI POTENZIALE: $\Delta V = 1.67 \text{ V}$

#	t [s]	T [$^\circ\text{C}$]	$\Delta T (T_n - T_{n-1})$
0	0	26.7	-
1	30	26.8	0.1
2	60	27	0.2
3	90	27.2	0.2
4	120	27.4	0.2

MISURAZIONE CON RESISTENZA R = 3 Ω CORRENTE: $I = 2.60 \text{ A}$ DIFFERENZA DI POTENZIALE: $\Delta V = 1.32 \text{ V}$

#	t [s]	T [$^\circ\text{C}$]	$\Delta T (T_n - T_{n-1})$
0	0	26.4	-
1	30	26.5	0.1
2	60	26.6	0.1
3	90	26.7	0.1
4	120	26.7	0.0

VERIFICA QUALITATIVA:**GRAFICO CON RESISTENZA R = 1 Ω** 

VERIFICA QUANTITATIVA:*calcolo della massa dell'acqua*

$$\rho = m/V \rightarrow m = \rho V$$

$$m = 1.00 \text{ g/cm}^3 (500 \text{ cm}^3) = 500 \text{ g} = 0.500 \text{ Kg}$$

RESISTENZA R = 1Ω

calcolo della variazione di temperatura

$$\Delta T = T_n - T_{n-1}$$

$$\Delta T_1 = T_1 - T_0 = 26.8 \text{ °C} - 26.7 \text{ °C} = 0.1 \text{ °C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_1 = 27 \text{ °C} - 26.8 \text{ °C} = 0.2 \text{ °C}$$

$$\Delta T_3 = T_3 - T_2 = 27.2 \text{ °C} - 27 \text{ °C} = 0.2 \text{ °C}$$

$$\Delta T_4 = T_4 - T_3 = 27.4 \text{ °C} - 27.2 \text{ °C} = 0.2 \text{ °C}$$

calcolo del calore assorbito dall'acqua

$$Q = m c \Delta t^\circ$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_1 = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg °C}) (0.1 \text{ °C}) = 209.3 \text{ J}$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_2 = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg °C}) (0.2 \text{ °C}) = 418.6 \text{ J}$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_3 = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg °C}) (0.2 \text{ °C}) = 418.6 \text{ J}$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_4 = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg °C}) (0.2 \text{ °C}) = 418.6 \text{ J}$$

calcolo Q_{assorbito medio}

$$\Sigma Q / 4 = \frac{209.3 \text{ J} + 418.6 \text{ J} + 418.6 \text{ J} + 418.6 \text{ J}}{4} = 366.3 \text{ J}$$

calcolo del calore dissipato dalla resistenza

$$Q = I \Delta V \Delta t = (5.87 \text{ A}) (1.67 \text{ V}) (30 \text{ s}) = 294,1 \text{ J}$$

calcolo scarto percentuale fra $Q_{\text{assorbito medio}}$ e $Q_{\text{dissipato}}$

$$\text{scarto\%} = \frac{\text{valore}_{\text{max}} - \text{valore}_{\text{min}}}{\text{valore}_{\text{min}}} 100 = \frac{366,3 \text{ J} - 294,1 \text{ J}}{294,1 \text{ J}} 100 = 24,6\%$$

RESISTENZA $R = 3\Omega$

calcolo della variazione di temperatura

$$\Delta T = T_n - T_{n-1}$$

$$\Delta T_1 = T_1 - T_0 = 26,5 \text{ }^\circ\text{C} - 26,4 \text{ }^\circ\text{C} = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_1 = 26,6 \text{ }^\circ\text{C} - 26,5 \text{ }^\circ\text{C} = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_3 = T_3 - T_2 = 26,7 \text{ }^\circ\text{C} - 26,7 \text{ }^\circ\text{C} = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_4 = T_4 - T_3 = 26,8 \text{ }^\circ\text{C} - 26,7 \text{ }^\circ\text{C} = 0,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

calcolo del calore assorbito dall'acqua

$$Q = m c \Delta t^\circ$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_1 = (0,500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg }^\circ\text{C}) (0,1 \text{ }^\circ\text{C}) = 209,3 \text{ J}$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_2 = (0,500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg }^\circ\text{C}) (0,1 \text{ }^\circ\text{C}) = 209,3 \text{ J}$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_3 = (0,500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg }^\circ\text{C}) (0,1 \text{ }^\circ\text{C}) = 209,3 \text{ J}$$

$$Q = m c \Delta t^\circ_4 = (0,500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg }^\circ\text{C}) (0,0 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,0 \text{ J}$$

calcolo $Q_{\text{assorbito medio}}$

$$\Sigma Q / 4 = \frac{209,3 \text{ J} + 209,3 \text{ J} + 209,3 \text{ J} + 0,0 \text{ J}}{4} = 156,9 \text{ J}$$

calcolo del calore dissipato dalla resistenza

$$Q = I \Delta V \Delta t = (2,60 \text{ A}) (1,32 \text{ V}) (30 \text{ s}) = 103 \text{ J}$$

calcolo scarto percentuale fra $Q_{\text{assorbito medio}}$ e $Q_{\text{dissipato}}$

$$\text{scarto\%} = \frac{\text{valore}_{\text{max}} - \text{valore}_{\text{min}}}{\text{valore}_{\text{min}}} 100 = \frac{156,9 \text{ J} - 103 \text{ J}}{103 \text{ J}} 100 = 52,3\%$$

CONCLUSIONI:

A seguito dei dati rilevati mediante l'esperienza svolta, considerando il grafico e lo scarto ottenuto, è possibile concludere affermando che l'esperienza si può quindi definire riuscita solamente in parte, in quanto non entrambe le verifiche hanno prodotto risultati soddisfacenti; il grafico infatti, nel cui studio vanno presi in considerazione e tenuti a mente i possibili errori, dovuti a numerosissimi fattori fra cui la difficoltà di raccogliere misure perfettamente esatte e l'impossibilità di ottenere un isolamento termico perfetto, mostra infatti un andamento lineare, seppur con le dovute imprecisioni (soprattutto nel secondo

grafico, dove la linea rossa sottolinea come solo l'ultimo dato si discosti dal rapporto di proporzionalità diretta) rispecchiando quelle che erano le aspettative; lo scarto percentuale invece, ossia la valutazione della differenza fra i due valori del calore Q ottenuti uno misurando l'energia dissipata e uno misurando l'energia assorbita, è infatti pari al 24.6 % nella prima serie di dati, valore accettabile ma comunque di notevole peso, e di 52.3%, valore invece del tutto inaccettabile che dimostra evidentemente la presenza di grossi errori che hanno ostacolato e impedito la piena verifica quantitativa di tale legge. Tuttavia, ciò potrebbe essere spiegato in quanto, oltre ai possibili errori di carattere umano, dovuti principalmente ad un uso errato dell'agitatore, compromettendo l'omogeneità nella temperatura dell'acqua, in vista del quale occorrerebbe ripetere l'esperienza e le misurazioni almeno in relazione alla seconda serie di dati, il calorimetro non è perfettamente isolato, assorbe parte del calore destinato all'acqua. Il comportamento del calorimetro può quindi essere assimilato a quello di una massa d'acqua aggiuntivo e che prende il nome di equivalente in acqua del calorimetro. Per stabile in modo esatto tale valore occorrerebbe svolgere delle misurazioni in assenza di resistori, tuttavia lo strumento riporta un equivalente in acqua precedentemente stimato pari a circa 17 g, sottraendo quindi parte dell'energia all'acqua che non potendo assorbirla non può innalzare ulteriormente la propria temperatura. Infatti, se considerando l'assorbimento del calore da parte del calorimetro, si ottiene un'energia assorbita che differisce, mediamente, in difetto di circa 12.6 J nella prima serie, secondo il calcolo

$$Q_{\text{assorbita effettiva}} = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.1 \text{ } ^\circ\text{C}) - (0.017 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.1 \text{ } ^\circ\text{C}) = 209.3 \text{ J} - 7.2 \text{ J} = 202.1 \text{ J},$$

per la prima misurazione e, per le restanti misurazioni

$$Q_{\text{assorbita effettiva}} = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.2 \text{ } ^\circ\text{C}) - (0.017 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.2 \text{ } ^\circ\text{C}) = 418.6 \text{ J} - 14.2 \text{ J} = 404.4 \text{ J},$$

e di circa 5.4 J, in media, nella seconda serie, secondo il calcolo

$$Q_{\text{assorbita effettiva}} = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.1 \text{ } ^\circ\text{C}) - (0.017 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.1 \text{ } ^\circ\text{C}) = 209.3 \text{ J} - 7.2 \text{ J} = 202.1 \text{ J},$$

e secondo il seguente calcolo per l'ultima misurazione

$$Q_{\text{assorbita effettiva}} = (0.500 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.0 \text{ } ^\circ\text{C}) - (0.017 \text{ Kg}) (4186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}) (0.0 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0.0 \text{ J} - 0.0 \text{ J} = 0.0 \text{ J}$$

ottenendo così un'energia assorbita media pari a 353.8 J nel primo caso e di 151.6 J nel secondo, portando quindi ad uno scarto percentuale rispettivamente del 20.3%, e quindi maggiormente accettabile in quanto più vicino al valore dell'errore percentuale consentito affinché la legge possa definirsi verificata quantitativamente, e del 47.2%, dato pur sempre inaccettabile ma che mostra come tale dispersione abbia un notevole peso sulla verifica quantitativa della legge. In conclusione, la verifica qualitativa può definirsi riuscita, in quanto i grafici prodotti rispecchiano in modo abbastanza soddisfacente quelli teorizzati, mentre la verifica quantitativa non può dirsi verificata, in quanto gli errori calcolati risultano troppo grandi.