

Conducibilità termica

MISURAZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ IN ASTE METALLICHE

- Misurazione dell'andamento della temperatura lungo un'asta metallica, un'estremità della quale viene riscaldata e l'altra raffreddata, in stato stazionario e non stazionario.
- Misurazione del flusso di calore nello stato stazionario.
- Determinazione della conducibilità termica del materiale dell'asta.

UE2020100

02/25 UD

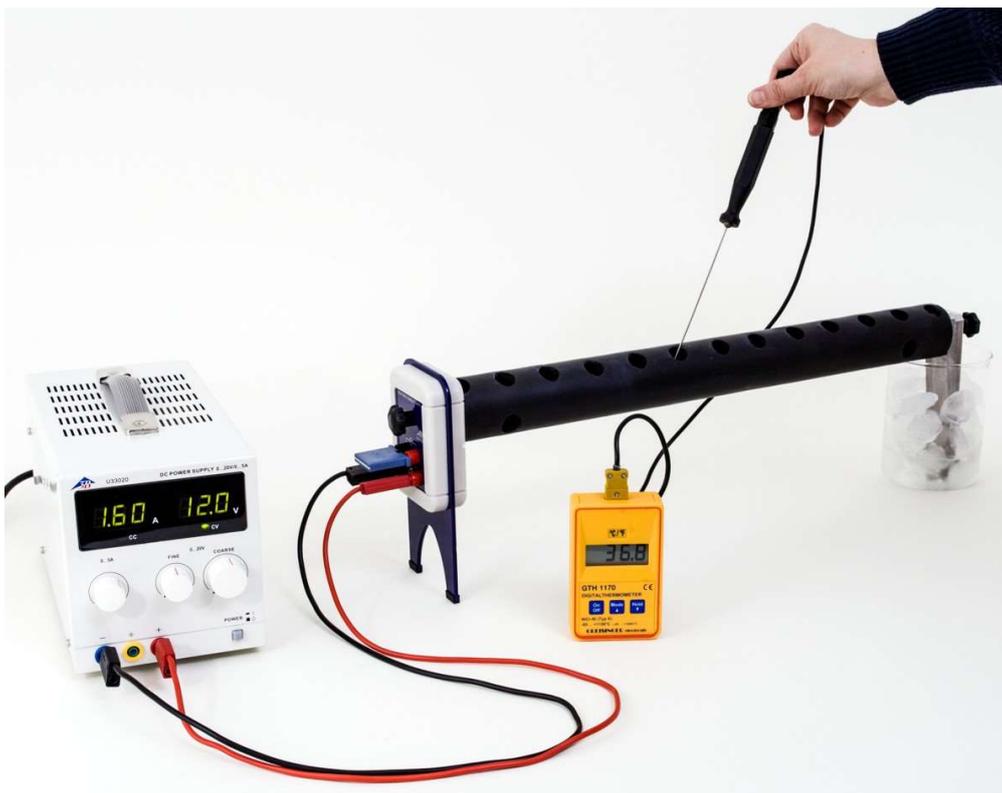


Fig. 1: Disposizione per la misurazione

BASI GENERALI

Il calore può essere trasferito da una zona più calda a una più fredda mediante conduzione, irraggiamento e convezione. Nella conduzione termica tale trasferimento di energia avviene da una zona più calda a una più fredda per effetto dell'interazione reciproca di molecole o atomi contigui, senza che vi sia spostamento di materia. Se, ad esempio, si riscalda un'asta metallica gli atomi nell'estremità

più calda oscillano più intensamente, ovvero con un'energia più elevata che nell'estremità fredda. L'energia viene trasferita agli atomi contigui per effetto degli urti, innescando l'effetto di conduzione lungo l'asta. In particolare, i metalli sono buoni conduttori termici, perché a questo effetto si aggiungono le collisioni tra elettroni liberi e atomi.

In un'asta con sezione trasversale A , le cui estremità sono mantenute a temperature differenti, si genera dopo un determinato periodo di tempo un gradiente di temperatura lungo l'asta, per cui la temperatura partendo dall'estremità più calda diminuisce uniformemente avvicinandosi a quella dell'estremità più fredda, generando un flusso di calore costante. Contemporaneamente nel tempo dt una quantità di calore dQ scorre nella sezione trasversale dell'asta, generando un flusso di calore costante P_Q :

$$(1) P_Q = \frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

P_Q : Flusso di calore (misurato in Watt)

A : Sezione trasversale dell'asta

λ : Conducibilità termica del materiale dell'asta

T : Temperatura

x : Coordinata spaziale lungo l'asta

Prima di raggiungere il gradiente di temperatura costante, nell'asta si produce una distribuzione della temperatura nel tempo $T(x,t)$, che si avvicina gradualmente allo stato stazionario. Vale la seguente equazione differenziale

$$(2) \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x,t) - c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0,$$

c : Calore specifico

ρ : Densità del materiale dell'asta

Nello stato stazionario vale conformemente all'equazione (1)

$$(3) \frac{\partial T}{\partial t}(x,t) = 0 \text{ e } \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}(x,t) = \text{const.} = \frac{P_Q}{A}.$$

Nell'esperimento un'estremità dell'asta viene riscaldata elettricamente. Una sorgente di calore alimentata elettronicamente fornisce all'asta conduttiva termica un flusso di calore, che può essere calcolato in base alla potenza elettrica

$$(4) P_{el} = U \cdot I$$

mediante la misurazione della tensione di riscaldamento U e della corrente di riscaldamento I . La regolazione elettronica della corrente fa in modo che l'estremità dell'asta raggiunga in un tempo estremamente rapido la temperatura di 90 °C, che viene poi mantenuta costante.

Attraverso apposite lamelle di raffreddamento il calore viene ceduto all'altra estremità dell'asta, raffreddata con acqua ghiacciata o con semplice acqua a temperatura ambiente. La potenza termica ceduta può essere determinata utilizzando un calorimetro.

Un manicotto isolante riduce la perdita di calore dell'asta conduttiva termica nell'ambiente e migliora la linearità del profilo di temperatura nello stato stazionario. Utilizzando un termometro elettronico istantaneo vengono misurate le temperature in determinati punti di misurazione lungo l'asta. Vengono utilizzate un'asta di alluminio e una di rame.

ELENCO DEGLI STRUMENTI

1 Kit conducibilità termica	1017329
1 Asta conduttiva termica alluminio	1017331
1 Asta conduttiva termica rame	1017330
1 Alimentatore CC 0 – 20 V, 5 A @230 V	1003312
0	
1 Alimentatore CC 0 – 20 V, 5 A @115 V	1003311
1 Termometro tascabile digitale rapido	1023780
1 Sensore a immersione NiCr-Ni Tipo K, -65°C – 550°C	1002804
1 Cavi di Sicurezza per Esperimenti, 75 cm, blu, rosso, (2 pz.)	1017718
1 Becher forma bassa 500 ml	1025691
In aggiunta si consiglia:	
2 Multimetri digitali P1035	1002781
Acqua ghiacciata	

MONTAGGIO E ESECUZIONE

Nota:

L'esperimento viene eseguito a titolo esemplificativo con l'asta conduttiva termica in alluminio.

- Pulite l'asta conduttiva termica presso le superfici di taglio e distribuire un sottilissimo strato di pasta conduttiva termica.
- Avvitare il modulo termico all'asta conduttiva termica per mezzo della vite di fissaggio; disporre l'asta in modo tale che i fori (punti di misurazione della temperatura) siano rivolti verso l'alto.
- Applicare il manicotto isolante sull'asta conduttiva termica e posizionare gli intagli dell'espanso sui punti di misurazione.
- Utilizzando la vite di fissaggio avvitare, senza stringere, la coppia di lamelle all'estremità dell'asta, posizionarla nel recipiente di raffreddamento (becher) e serrare.
- Riempire il becher con acqua ghiacciata, cambiandola se necessario nel corso dell'esperimento.
- Per l'alimentazione di corrente, collegare l'alimentatore DC tramite i jack di raccordo. Prestare assoluta attenzione alla polarità: rosso = polo positivo. Cortocircuitare la seconda coppia di jack per mezzo della spina di corto circuito.
- Per la misurazione della corrente di riscaldamento, anziché la spina di cortocircuito collegare alla coppia di jack superiore un amperometro.
- Per una determinazione il più possibile precisa della potenza elettrica assorbita (prodotto della tensione e della corrente di riscaldamento), misurare direttamente presso il modulo termico tramite la coppia di jack inferiore la tensione di riscaldamento, senza leggerla dall'alimentatore.
- Misurare la temperatura con un termometro elettronico (sensore ultrarapido con termocoppia) ad intervalli temporali in più possibile identici presso i punti di misurazione da 1 a 13 sull'asta conduttiva termica (Tab. 1). A tale scopo, applicare prima una piccola quantità di pasta conduttiva termica sui punti di misurazione.
- Eseguire diverse serie di misurazione ad es. ad intervalli di 150 s, fino a raggiungere lo stato stazionario (Tab. 1).

ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tensione di riscaldamento U : 12 V
 Corrente di riscaldamento I : 1,6 A

Tab. 1: Punti di misurazione N , distanze dei punti di misurazione x e temperature T presso i punti di misurazione per cinque diverse serie di misurazione con un intervallo temporale pari a 150 s

N	x / cm	T / °C				
		t = 0 s	t = 150 s	t = 300 s	t = 350 s	t = 400 s
1	1	88,7	88,8	90,0	90,0	90,6
2	5	74,0	78,3	81,0	82,0	84,5
3	9	63,6	68,9	72,0	75,0	78,4
4	13	55,3	61,1	64,1	68,0	72,0
5	17	48,8	54,6	57,8	62,0	66,6
6	21	43,9	49,1	52,2	55,9	61,3
7	25	39,6	44,0	46,8	51,0	56,1
8	29	36,2	39,9	42,3	46,5	50,9
9	33	33,5	36,6	38,9	41,9	46,3
10	37	31,5	34,4	36,0	38,0	41,7
11	41	29,6	32,1	33,6	35,2	37,4
12	45	28,8	30,3	31,8	32,0	32,9
13	49	27,6	28,8	29,8	28,3	29,1

ANALISI

- Rappresentare graficamente le serie di misurazioni dalla Tab. 1 in un diagramma $T(N)$ (Fig. 2).

I punti di misurazione si approssimano con il tempo a un andamento lineare, che rispecchia il raggiungimento dello stato stazionario.

- Calcolare le temperature della serie di misurazioni per $t = 400$ s dalla Tab. 1 come da

$$(5) \quad K = ^\circ C + 273,15 = \frac{(^{\circ}F + 459,67)}{1,8}$$

in Kelvin, rappresentare graficamente in funzione della distanza x e tracciare una retta sui punti di misurazione (Fig. 3).

Per l'incremento lineare k si ha:

$$(6) \quad k = -1,28 \frac{K}{cm}$$

L'incremento lineare k corrisponde al gradiente di temperatura nell'equazione (1):

$$(7) \quad k = \frac{dT}{dx} = -\frac{P_Q}{\lambda \cdot A}$$

Successivamente, nella supposizione semplificata che il flusso di calore P_Q corrisponde alla potenza elettrica P_{el} , si determina la conduttività termica λ . Da (7) consegue che:

$$(8) \quad \lambda = -\frac{P_Q}{k \cdot A} \approx -\frac{P_{el}}{k \cdot A} = -\frac{12 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A}}{-1,28 \frac{K}{cm} \cdot 490 \cdot \text{mm}^2} = 306 \frac{W}{m \cdot K}$$

Il valore determinato in fase di misurazione si discosta solamente del 30% circa dal valore di letteratura $\lambda = 236 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

In effetti, il flusso di calore P_Q corrisponde alla potenza elettrica P_{el} meno la perdita di potenza P_l :

$$(9) \quad P_Q = P_{el} - P_l$$

Pertanto si ha:

$$(10) \quad \lambda = -\frac{P_{el} - P_l}{k \cdot A} \Leftrightarrow P_l = P_{el} + k \cdot \lambda \cdot A$$

Per la perdita di potenza ne consegue con il valore di letteratura $\lambda = 236 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$:

$$(11) \quad P_l = 12 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A} - 1,28 \frac{K}{cm} \cdot 236 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 490 \text{ mm}^2 = 4,4 \text{ W}$$

Nota per la misurazione del flusso di calore nello stato stazionario:

Se, invece dell'acqua ghiacciata nel becher, si utilizza acqua a temperatura ambiente in un recipiente sufficientemente isolato termicamente, il flusso di calore P_Q può essere determinato in base alla quantità di calore dQ ceduta all'acqua in un tempo dt utilizzando un calorimetro:

$$(12) \quad P_Q = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \{c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot dT\} = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \frac{dT}{dt}$$

c_{H_2O} : capacità termica specifica dell'acqua

m_{H_2O} : massa dell'acqua

dT/dt : aumento della temperatura dell'acqua nel periodo dt

L'aumento della temperatura dell'acqua entro un determinato periodo di tempo può essere misurato direttamente. La conduttività termica λ in considerazione della perdita di potenza deriva quindi direttamente dall'equazione (7) con l'incremento lineare k di cui in (6).

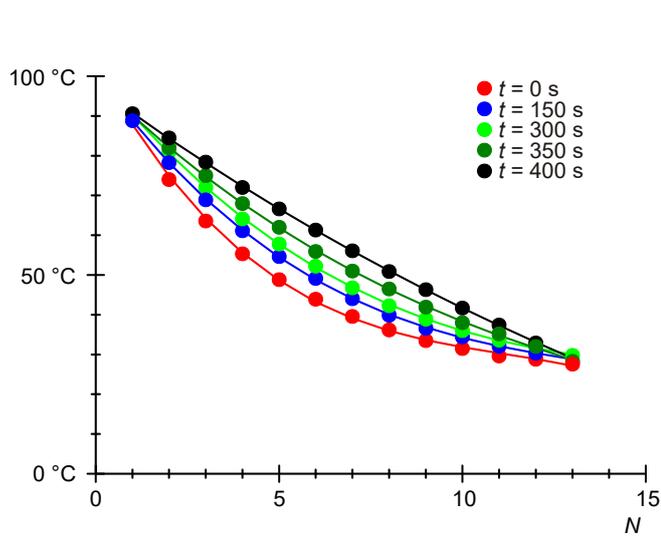


Fig. 2: Temperature lungo l'asta di alluminio in cinque serie di misur a una distanza temporale di 150 s

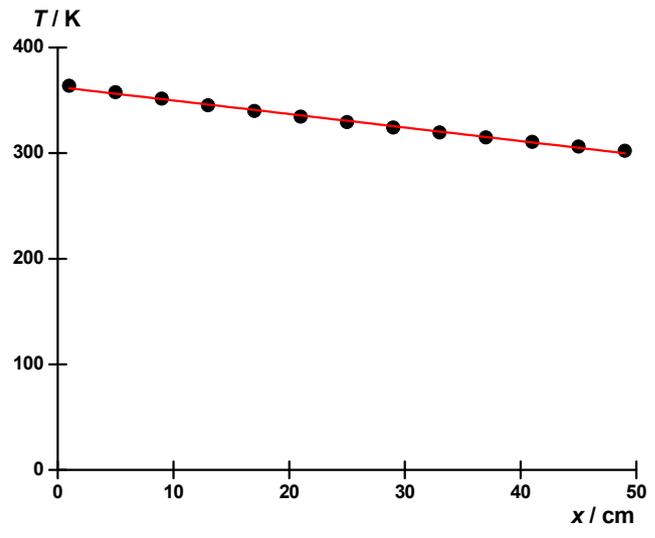


Fig. 3: Temperatura T in funzione della distanza x dei punti di misurazione nello stato stazionario