

Dilatazione termica dei solidi

DETERMINAZIONE DEI COEFFICIENTI DI DILATAZIONE DI OTTONE, ACCIAIO E VETRO

- Misurazione della dilatazione lineare termica di tubi realizzati in ottone, acciaio e vetro.
- Determinazione dei coefficienti di dilatazione termica lineare di questi materiali e confronto con i valori di letteratura.

UE2010130

03/16 UD



Fig. 1: Disposizione per la misurazione.

BASI GENERALI

In un solido ogni atomo oscilla intorno alla propria posizione di equilibrio. L'oscillazione non è armonica, poiché l'energia potenziale, dal punto di equilibrio, cresce molto rapidamente se gli atomi si avvicinano e più lentamente se si allontanano. In presenza di temperature più elevate e quindi di un'energia di oscillazione maggiore, gli atomi riescono ad allontanarsi sempre di più l'uno dall'altro, ma non ad avvicinarsi di più; conseguentemente la loro di-

stanza media cresce. Questo effetto si intensifica con l'aumentare della temperatura, pertanto al salire della temperatura il solido si dilata in misura sempre maggiore. In questo contesto è consuetudine osservare variazioni di lunghezza relative dalle quali si calcolano le variazioni di volume.

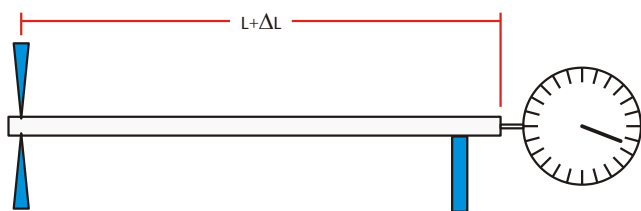


Fig. 2: Rappresentazione schematica della disposizione per la misurazione

Il coefficiente di dilatazione lineare è definito come

$$(1) \quad \alpha = \frac{1}{L(\vartheta)} \cdot \frac{dL}{d\vartheta}$$

L: Lunghezza

ϑ: Temperatura in °C

Dipende in maniera notevole dal materiale e, di norma, poco dalla temperatura. Ne consegue che

$$(2) \quad L(\vartheta) = L_0 \cdot \exp(\alpha \cdot \vartheta)$$

$$L_0 = L(0^\circ\text{C})$$

si può approssimare, per temperature non eccessivamente elevate, in con

$$(3) \quad L(\vartheta) = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$$

Nell'esperimento vengono eseguite misurazioni su tubi sottili di acciaio, ottone e vetro, che vengono riscaldati facendo scorrere acqua calda al loro interno. Un termostato a circolazione mantiene la temperatura dell'acqua costante. Poiché i tubi sono fissati solo su un lato all'apparecchio per la dilatazione lineare, applicando un comparatore a quadrante sull'altra estremità è possibile leggere la variazione di lunghezza rispetto alla temperatura di riferimento, costituita dalla temperatura ambiente (Fig. 2).

ELENCO DEGLI STRUMENTI

- 1 Apparecchio per la dilatazione lineare D
1002977 (U15400)
- 1 Termostato a circolazione/immersione @230V
1008654 (U144002-230)
- o
- 1 Termostato a circolazione/immersione @115V
1008653 (U144002-115)
- 1 Comparatore a quadrante
1012862 (U8442250)
- 2 Tubo di silicone, 6 mm
1002622 (U10146)

MONTAGGIO

Adattamento del dispositivo di dilatazione lineare sul comparatore a quadrante

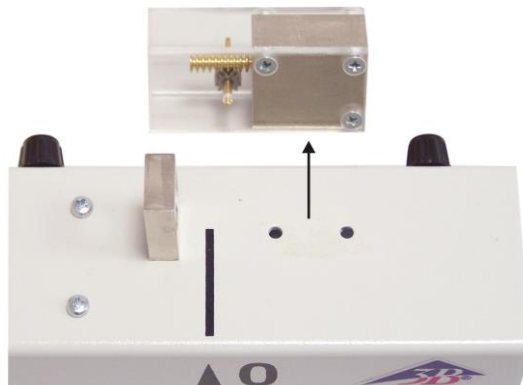


Fig. 3: Sul dispositivo di dilatazione lineare svitare l'ingranaggio dentato dell'indicatore.



Fig. 4: Avvitare l'adattatore per il comparatore a quadrante.



Fig. 5: Inserire completamente il comparatore a quadrante nell'adattatore e fissarlo con la vite ad alette.

Montaggio dei tubi di prova



Fig. 6: Fissare il cuscinetto fisso mediante la vite a testa zigrinata in corrispondenza della marcatura 600 sul dispositivo di dilatazione lineare. Posizionare il tubo in acciaio di prova con l'estremità aperta nel cuscinetto fisso.



Fig. 7: Collocare il tubo di prova con l'estremità chiusa nel cuscinetto di guida. Prestare attenzione a che la flangia sia rivolta all'indietro.

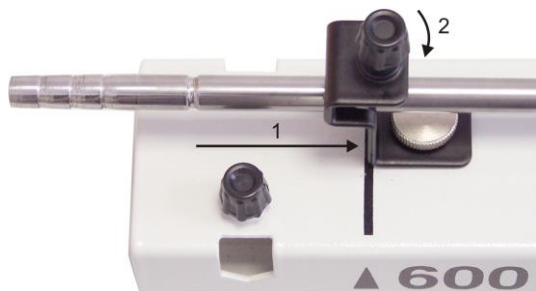


Fig. 8: Spostare il tubo di prova verso destra, finché la tacca presente sull'estremità aperta nel cuscinetto fisso non sia in posizione orizzontale. (Nota: così facendo, la punta di misurazione del comparatore a quadrante viene pretensionata). Fissare il tubo di prova con la vite di bloccaggio nel cuscinetto fisso.

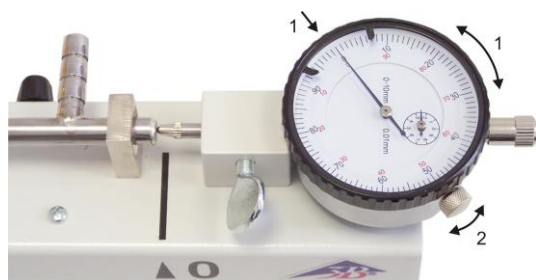


Fig. 9: Girare l'anello graduato sul comparatore a quadrante, fino a far coincidere lo zero sulla scala con la posizione dell'indicatore. Fissare l'anello graduato con la vite di bloccaggio.

Montaggio e collegamento del termostato a immersione con bagno/a circolazione

Avvertenza per la sicurezza

Non collegare il termostato alla rete, finché la testina di controllo non è correttamente montata sulla copertura della vasca di immersione.

- Attenersi alle istruzioni per il montaggio della vasca di immersione e montare il ponticello di immersione sul termostato. A tale scopo far passare il termostato attraverso l'apertura circolare del ponticello di immersione. Montare il kit di circolazione della pompa, insieme al tubo flessibile a L, sul lato dell'alloggiamento della pompa in cui è presente l'uscita della pompa e sul lato opposto montare una piastra cieca.
- Agganciare il termostato con il ponticello di immersione montato nella vasca di immersione e fissare al bordo della vasca la testina di controllo del termostato con il gancio, ruotando la vite a testa zigrinata.



Fig. 10: Mandata (1) e ritorno (2) del kit di circolazione della pompa.

- Dividere il tubo flessibile in silicone in due metà di circa la stessa lunghezza. Come mostrato nella fig. 1, con una metà del tubo flessibile collegare la mandata del kit di circolazione della pompa (fig. 10) all'estremità aperta del tubo di prova, e con l'altra metà del tubo flessibile collegare la flangia del tubo di prova al ritorno del kit di circolazione della pompa (fig. 10).

ESECUZIONE

- Riempire la vasca di immersione con acqua decalcificata, in modo tale da coprire completamente il radiatore. Collocare il coperchio della vasca sul ponticello di immersione.
- Collegare il termostato a una presa dotata di conduttore di protezione. Assicurarsi che i dati riportati sulla targhetta corrispondano alla tensione di rete.
- Accendere il termostato con l'interruttore posto sul lato anteriore.

Viene visualizzata la temperatura attuale del bagno che corrisponde alla temperatura ambiente.

- Nella tab. 1 annotare la temperatura attuale del bagno come temperatura di riferimento.
- Regolare le temperature nominali in ca. 4 tempi. Attendere, ogni volta, che la temperatura effettiva abbia raggiunto quella nominale e annotare il valore nella tab. 1. Per ogni fase calcolare la differenza rispetto alla temperatura di riferimento e inserire anche questo valore nella tab. 1.
- Per ogni temperatura e/o differenza di temperatura leggere sulla scala del comparatore a quadrante la variazione di lunghezza rispetto alla posizione 0 e inserire il valore nella tab. 1.
- Montare il tubo di ottone o vetro e ripetere la misurazione. Eventualmente adattare l'ampiezza degli scarti di temperatura. Inserire i valori misurati nella tab. 2 e/o tab. 3.

ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tab. 1: Dilatazione termica dell'acciaio, ϑ : temperatura imposta, $\Delta\vartheta$: differenza di temperatura, ΔL : variazione di lunghezza.

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta L / \text{mm}$
21,70	0,00	0,00
25,00	3,30	0,02
29,00	7,30	0,05
33,20	11,50	0,07
37,30	15,60	0,11
41,30	19,60	0,13
44,90	23,20	0,16
48,40	26,70	0,19
52,30	30,60	0,22
56,10	34,40	0,24
60,10	38,40	0,27
64,10	42,40	0,29
68,00	46,30	0,32
72,00	50,30	0,35
76,10	54,40	0,38
80,10	58,40	0,41
84,30	62,60	0,44
87,40	65,70	0,46
91,80	70,10	0,49
95,80	74,10	0,52
98,80	77,10	0,54

Tab. 2: Dilatazione termica dell'ottone, ϑ : temperatura imposta, $\Delta\vartheta$: differenza di temperatura, ΔL : variazione di lunghezza.

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta L / \text{mm}$
25,3	0,0	0,00
32,9	7,6	0,07
36,2	10,9	0,11
40,9	15,6	0,17
45,1	19,8	0,22
48,8	23,5	0,26
52,6	27,3	0,31
56,6	31,3	0,35
60,6	35,3	0,40
64,4	39,1	0,45
68,3	43,0	0,49
72,7	47,4	0,53
76,1	50,8	0,58
80,3	55,0	0,63
84,1	58,8	0,67
88,4	63,1	0,71
91,9	66,6	0,76
96,2	70,9	0,81
99,5	74,2	0,84

Tab. 3: Dilatazione termica del vetro, ϑ : temperatura imposta, $\Delta\vartheta$: differenza di temperatura, ΔL : variazione di lunghezza.

$\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta\vartheta / ^\circ\text{C}$	$\Delta L / \text{mm}$
23,8	0,0	0,00
26,8	3,0	0,01
33,2	9,4	0,02
39,2	15,4	0,03
44,9	21,1	0,04
50,8	27,0	0,05
56,4	32,6	0,06
62,7	38,9	0,07
68,1	44,3	0,08
74,8	51,0	0,09
80,4	56,6	0,10
86,3	62,5	0,11
92,2	68,4	0,12
97,9	74,1	0,13

ANALISI

Nel range di temperatura analizzato vale $\alpha \cdot \Delta\vartheta \ll 1$. Pertanto l'equazione (3) deve essere modificata

$$(4) \quad \Delta L = L(\vartheta_1) \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta \quad \text{con}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1, \quad L(\vartheta_1) = 600 \text{ mm}$$

I coefficienti di dilatazione lineare cercati possono essere determinati in base alla pendenza delle rette passanti per l'origine in Fig. 11.

$$(5) \quad \alpha = \frac{a}{L(\vartheta_1)}$$

- Riportare in un grafico le variazioni di lunghezza misurate per ottone, acciaio e vetro (tab. 1, 2 e 3) in funzione delle differenze di temperatura e unirle con una linea retta.
- In funzione dell'equazione (5) determinare i coefficienti di dilatazione lineare in base all'incremento della linea retta, e inserirli nella tab. 4. Nota: poiché vengono prese in considerazione le variazioni di temperatura, l'indicazione della temperatura in °C è equivalente all'indicazione di temperatura in K.

Tab. 4: Coefficienti di dilatazione lineare per ottone, acciaio e vetro determinati dalla misurazione e valori indicati in letteratura.

Materiale	$a / \text{mm} \cdot \text{K}^{-1}$	$\alpha / 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ Misurazione	$\alpha / 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ Letteratura
Misurazione	0,0114	19,0	18,5
Acciaio	0,0070	11,7	11,5
Vetro	0,0018	3,0	3,3

I coefficienti di dilatazione lineare determinati con la misurazione corrispondono in buona parte a quelli indicati in letteratura.

Se invece si prendono in considerazione anche temperature più elevate, l'equazione approssimata (3) non è più applicabile. α non si dimostra costante, bensì visibilmente dipendente dalla temperatura. Ciò si può notare - a un'osservazione più attenta - anche nel range di temperatura analizzato. Poiché le variazioni di lunghezza vengono misurate con una risoluzione di 0,01 mm, ad un'attenta analisi dei dati risulta che, in particolare per l'ottone, i valori misurati non seguono un andamento lineare e il coefficiente di dilatazione cresce debolmente con l'aumentare della temperatura.

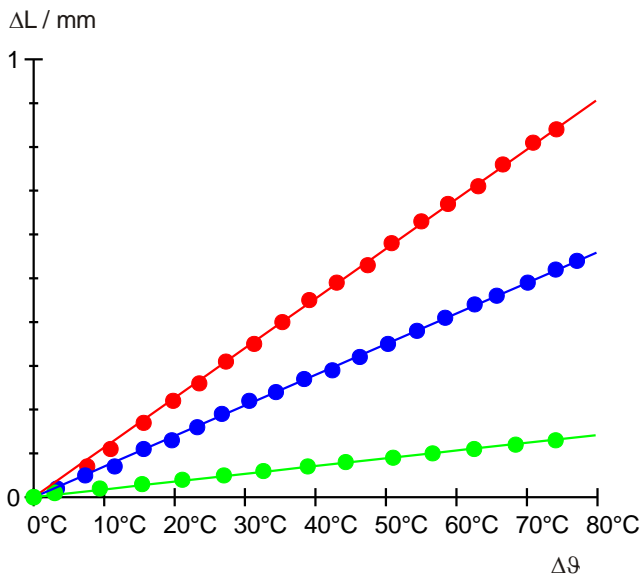


Fig. 11: Variazione di lunghezza per ottone (rosso), acciaio (blu) e vetro (verde) in funzione della differenza di temperatura.

NOTA

Se è sufficiente analizzare la differenza di lunghezza tra temperatura ambiente e temperatura del vapore, si può usare un generatore di vapore al posto del termostato a circolazione. L'elenco accessori corrispondente è disponibile al numero UE2010135 (vedere Fig. 12).



Fig. 12: Struttura con generatore di vapore

