



**La soluzione  
del problema  
LI 3-4 (2018),  
p. 157**

Se si approssima la geometria del sensore a un cilindro di diametro  $D$  e lunghezza  $L$ , dalle relazioni  $A = 2\pi L D/2$  e  $V = \pi L D^2/4$  si ottiene la relazione  $A/V = 4/D$ , che può essere espressa per esempio in  $\text{cm}^{-1}$  (unità c.g.s.).

Un *filamento di tungsteno*, per esempio ottenuto da una lampadina il cui bulbo di vetro sia stato accuratamente perforato senza danneggiare il filamento stesso, massimizza il rapporto  $A/V$  (Figura 1).

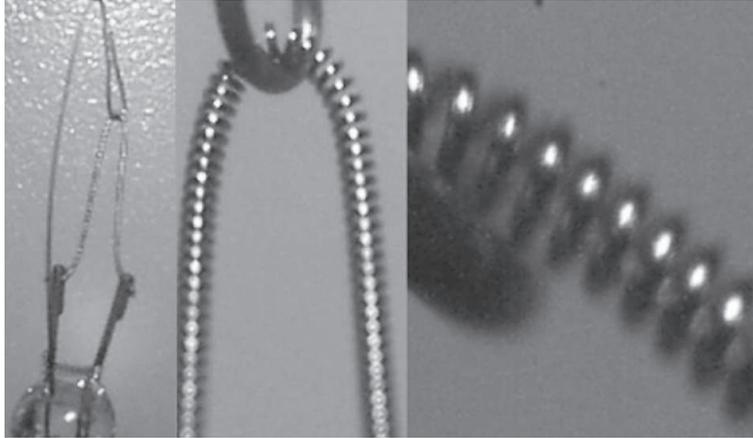


Figura 1. Foto di un filamento di lampadina a vari ingrandimenti.

La geometria del filamento è infatti quella di un lunghissimo sottilissimo *cilindro* avvolto a spirale per renderlo compatto senza aggrovigliarlo. Valore tipico del diametro  $D$  del filamento è qualche decina di micron, mentre per un tipico termistore o resistore di platino la geometria si può approssimare a un cilindretto con  $D \approx 0.1$  cm.

Per il filamento si ha  $A/V \approx 10^5 \text{ cm}^{-1}$ , per termistore o termoresistenza si ha  $A/V \approx 10 \text{ cm}^{-1}$ ; il che, assumendo simile calore specifico per i diversi materiali che compongono il sensore, la prontezza di un filamento è maggiore di 4 ordini di grandezza rispetto a un termistore.

Le variazioni di temperatura del filamento si possono misurare misurando le corrispondenti variazioni di resistenza, per esempio alimentando il filamento con una corrente costante e misurando la differenza di potenziale ai capi del filamento.

Oltre alla prontezza, in un termometro conta la sensibilità.

Dato che il coefficiente termico del tungsteno è  $\alpha = (dR/R)/dT \approx 0.0042 \text{ K}^{-1}$  la variazione di tensione ai capi del filamento corrispondente a una variazione di temperatura  $dT$  è  $dV/dT = (dV/dR)(dR/dT) = (dV/dR)\alpha R$ .

Se si usa una corrente costante  $I$  la variazione di tensione ai capi è  $dV = IdR$ , ovvero  $dV/dT = \alpha RI = \alpha V$ , ovvero un piccolo segnale.

Conviene quindi usare un sistema di rivelazione a ponte con un amplificatore all'uscita, per esempio come quello mostrato in Figura 2, dimensionato per un filamento con  $R = 2000$  ohm (lampadina da 3W – 220V).

Il segnale differenziale in uscita dal ponte, amplificato con guadagno  $G = 100$ , è inviato alla uscita. La tensione di uscita va regolata a circa 2.5 V quando il filamento è a temperatura ambiente, tramite il potenziometro P. Un grossolano bilanciamento del ponte, che dipende dalla resistenza del filamento utilizzato, è ottenuto tramite il potenziometro  $P_1$ .

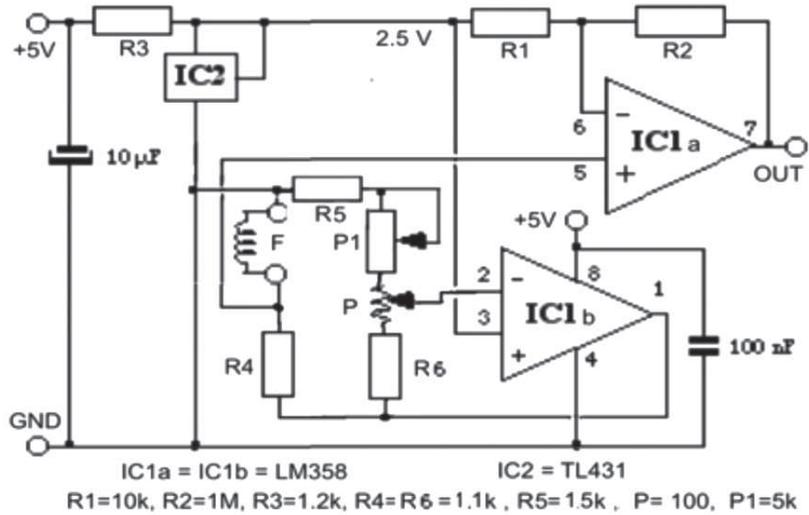


Figura 2. Schema di un termometro per sonda a filamento di tungsteno.

La sensibilità del termometro è  $dV/dT = G(dV/dR)(dR/dT) = G(dV/dR)\alpha R$ .

Trascurando il piccolo valore di P e ponendo  $R_p = R_5 + P_1$  otteniamo  $(dV/dR) = V_0(R_4/R_p)(R_4 + R_p)/(R_4 + R)$ ; per  $R \approx R_p \approx 2R_4$ ,  $(dV/dR) \approx V_0/3R$ ,  $\alpha = dR/RdT \approx 0.004 \text{ K}^{-1}$ ,  $V_0 = 2.5\text{V}$ ,  $G = 100$  si ha:

$$dV/dT \approx G(V_0/3R)\alpha R = G\alpha V_0/3 \approx 0.3 \text{ (V/K)}. \quad (1)$$

Dall'equazione (1) si vede che il sensore può essere calibrato convertendo i cambiamenti di tensione in variazioni di temperatura mediante il fattore  $b = dT/dV \approx 3 \text{ K/V}$ .

Un altro schema di amplificazione per ponte a 4 elementi, forse più facile da capire, è mostrato in Figura 3.

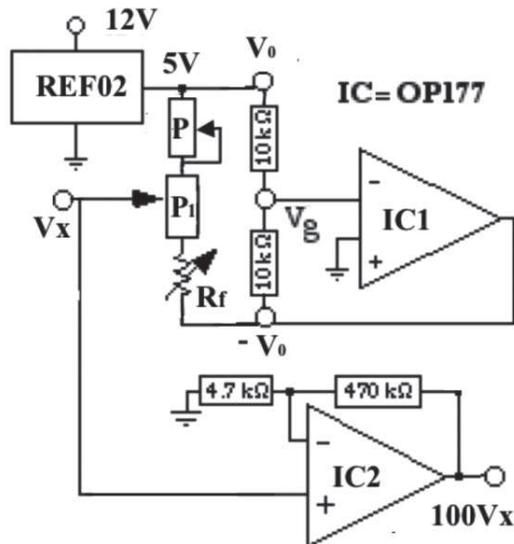


Figura 3.

Il ponte è alimentato tra  $+V_0$  e  $-V_0$  dall'amplificatore operazionale IC1 (il nodo  $V_s$  è massa virtuale, ovvero per effetto della retroazione esso è mantenuto a tensione nulla rispetto a massa da IC1, e questo vincola la polarizzazione del ponte tra  $+5V$  e  $-5V$ ).

Un braccio del ponte ( $R_f$ ) è il filamento, e il potenziometro  $P$  è aggiustato a un valore circa uguale alla resistenza del filamento a temperatura ambiente. Gli altri due bracci sono due resistori fissi da  $10K$  e l'azzeramento si ottiene con il potenziometro centrale  $P_1$ , con valore molto minore di  $R_f$ ,  $P_1 \approx (R_f/100)$ .

La tensione  $V_x$  è  $V_x = V_0(R_f - P)/(P + P_1 + R_f) \approx (V_0/2)(R_f - P)/R_f = (V_0/2)dR_f/R_f$ . Per variazioni  $dR_f$  di  $R_f$  dovute alla temperatura che cambia, si ha quindi  $dV_x \approx (V_0/2)dR_f/R_f = (V_0/2)\alpha dT$ .

Il segnale in uscita è amplificato di un fattore 100 da IC2, quindi  $dV/dT \approx 50 \alpha V_0 \approx 0.2 V_0 \approx 1(V/K)$ .

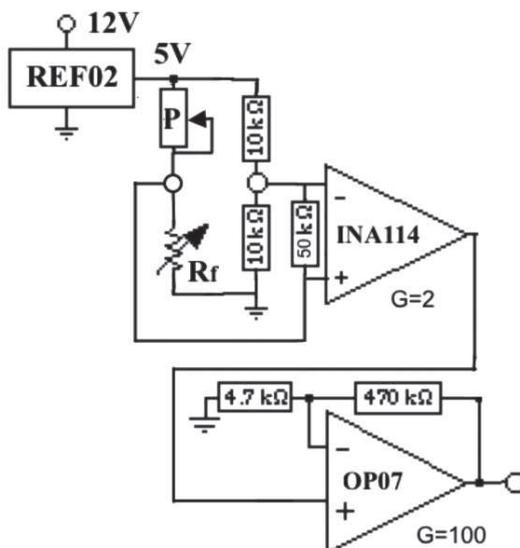


Figura 4.

In Figura 4 un circuito ancora più semplice, con un amplificatore da strumentazione (INA114 in configurazione di guadagno = 2), che legge direttamente lo sbilanciamento del ponte, seguito da un secondo amplificatore con guadagno  $G = 100$ .

In questo caso il ponte è polarizzato tra  $+5V$  e massa, e il segnale in uscita è  $dV_x = 2G(5/2)(R_f - P)/(P + R_f) \approx 250 dR_f/R_f = 250 \alpha dT$  ovvero ancora  $dV/dT \approx 1(V/K)$ .

Giacomo Torzo e Guido Pegna

Si invitano i soci a versare la quota di associazione (**40 €**) per l'anno **2019**.

Si ricorda che in caso di mancato rinnovo entro il **30 giugno 2019**, viene sospeso l'invio della rivista *La Fisica nella Scuola*, a partire dal n. 2.

Il pagamento della quota può essere fatto (cfr.: [www.aif.it/iscriviti/](http://www.aif.it/iscriviti/)):

- tramite conto corrente postale con bonifico bancario o postagiuro
- carta di credito sul sito sicuro *Paypal*
- con il bonus della carta docente per i docenti a tempo indeterminato delle istituzioni statali
- con bollettino premarcato su conto corrente postale dedicato al rinnovo, per chi vuole utilizzare il bollettino ricevuto per lettera.