

Il ponte di Wheatstone

DETERMINAZIONE DI RESISTENZE OHMICHE.

- Determinazione di resistenze ohmiche in un ponte di Wheatstone.
- Valutazione della precisione di misura.

UE3020300

03/16 UD

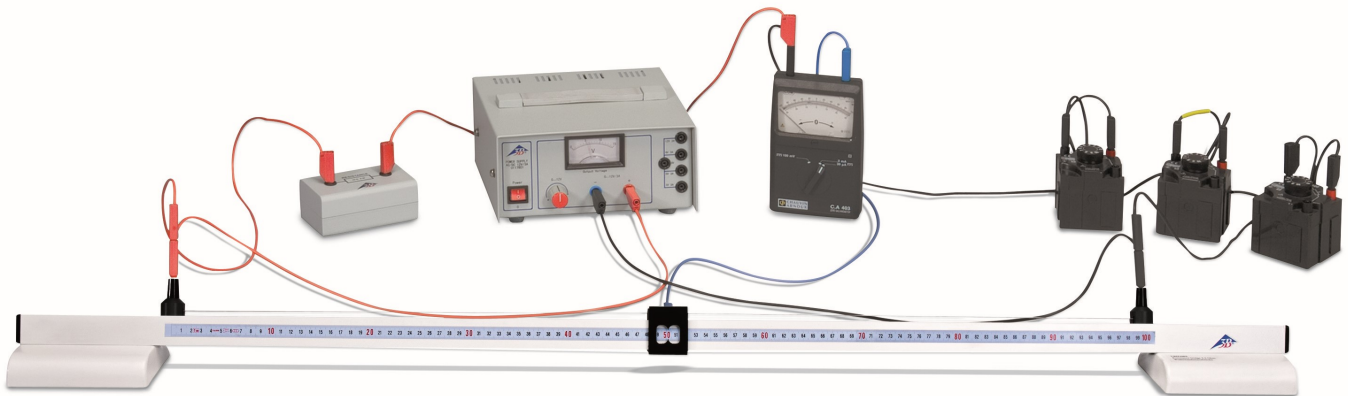


Fig. 1: Disposizione per la misurazione.

BASI GENERALI

Le resistenze ohmiche si determinano in maniera classica con il ponte di misura/bilanciamento che ha preso il nome da *Ch. Wheatstone* mediante il confronto con una resistenza di riferimento. A tale scopo si realizza un collegamento in parallelo di due divisori di tensione, collegati alla stessa sorgente di tensione continua. Il primo divisore di tensione è costituito dalla resistenza R_x da misurare e dalla resistenza di riferimento R_{ref} , il secondo invece dalle resistenze R_1 e R_2 , la cui somma durante il bilanciamento rimane inalterata (vedere la Fig. 2).

Il rapporto tra le resistenze R_1 e R_2 e, se necessario, anche la resistenza di riferimento R_{ref} vengono modificati finché la corrente trasversale I è portata a zero. Questo avviene esattamente quando i rapporti tra le resistenze di entrambi i divisori di tensione sono uguali. Da questa condizione di bilanciamento si ottiene la resistenza sconosciuta R_x

$$(1) \quad R_x = R_{ref} \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

Nell'esperimento, il secondo divisore di tensione è costituito da un filo per resistenze di 1 m che viene diviso da un contatto strisciante in due parti dalla lunghezza s_1 e s_2 .

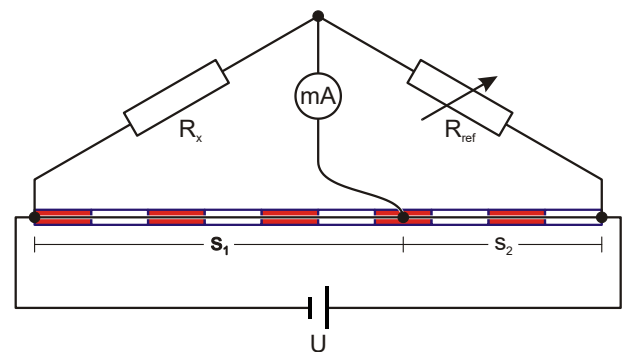


Fig. 2: Rappresentazione schematica del ponte di Wheatstone

Poiché entrambe le resistenze R1 e R2, in base a

$$(2) R_{1,2} = \rho \cdot \frac{s_{1,2}}{A}$$

ρ : resistenza specifica del materiale del filo.
 A : sezione trasversale del filo per resistenze

sono rappresentate dalle parti del filo per resistenze, l'equazione (1) viene convertita in

$$(3) R_x = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{s_2} = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{(1m - s_1)}$$

La precisione del risultato dipende dalla tolleranza della resistenza di riferimento R_{ref} e dalla precisione con cui può essere impostato il rapporto s_1/s_2 delle parti del filo o delle resistenze R_1/R_2 , così come dalla precisione con cui può essere eseguita la taratura a zero del ponte di misura.

In base alla distribuzione degli errori di Gauss, per l'errore di misurazione assoluto vale

$$(4) \Delta R_x = \sqrt{\left(\frac{s_1}{(1m - s_1)} \cdot \Delta R_{ref}\right)^2 + \left(R_{ref} \cdot \frac{1m \cdot \Delta s_1}{(1m - s_1)^2}\right)^2}$$

e per l'errore di misurazione relativo vale

$$(5) \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{ref}}{R_{ref}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta s_1}{s_1} \cdot \frac{1m}{(1m - s_1)}\right)^2}$$

La fig. 3 mostra l'errore di misurazione relativo $\Delta R_x/R_x$ per $0m < s_1 < 1m$, $\Delta R_{ref}/R_{ref} = 0,005$ (0,5%) e un errore di lettura di $\Delta s_1 = \pm 0,5mm$. L'errore di misurazione relativo è simmetrico rispetto a $s_1 = 0,5m$, in corrispondenza di questo valore raggiunge un minimo e tende a infinito sia per $s_1 \rightarrow 0m$ che per $s_1 \rightarrow 1m$.

Pertanto la precisione del ponte di Wheatstone, sotto forma di ponte di misura del filo per resistenze, è massima, quando il contatto strisciante si trova al centro, ovvero con $s_1 = s_2 = 0,5m$. In base all'equazione (3) vale quindi $R_x = R_{ref}$. La resistenza di riferimento deve quindi essere scelta il più possibile, in modo tale che entrambi i segmenti s_1 e s_2 abbiano la stessa lunghezza, ovvero che il rapporto sia $s_1/s_2 = 1$.

La precisione della taratura a zero del ponte di misura viene descritta tramite l'incertezza di misura della comparazione che è inversamente proporzionale alla sensibilità del ponte di misura. Vale a dire che tanto più sensibile è il ponte di misura, quanto più precisa è la taratura a zero.

La sensibilità descrive il rapporto fra l'oscillazione del galvanometro zero e la variazione di posizione del contatto strisciante che causa l'oscillazione. Aumenta con la sensibilità del galvanometro zero e con la tensione di alimentazione U del ponte di misura e dipende dalle resistenze del ponte, così come dalla resistenza del galvanometro zero. Raggiunge il valore massimo, quando il contatto strisciante si trova al centro del filo per resistenze. Pertanto, in corrispondenza di quella posizione, è ottimale non solo il rapporto s_1/s_2 , ma anche la precisione della taratura a zero.

Poiché la resistenza del filo del ponte di misura è maggiore della resistenza delle linee di alimentazione di solo un ordine di grandezza circa, per le misurazione vengono usate resistenze $R_x \geq 100\Omega$.

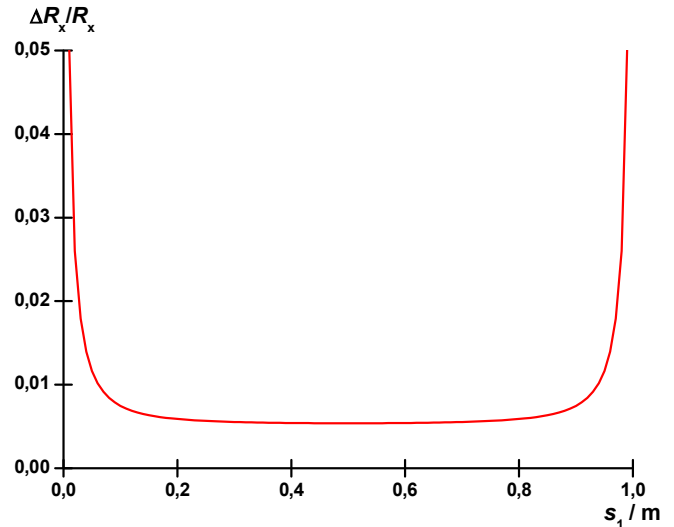


Fig. 3: Errore di misurazione relativo $\Delta R_x/R_x$ in funzione di s_1 in base all'equazione (5) con $\Delta R_{ref}/R_{ref} = 0,005$ (0,5%) e $\Delta s_1 = \pm 0,5mm$.

ELENCO DEGLI STRUMENTI

| | |
|--|-----------------------|
| 1 Ponte di resistenze | 1009885 (U8551002) |
| 1 Alimentatore CA/CC 0...12 V/ 3 A @230V | 1002776 (U117601-230) |
| o | |
| 1 Alimentatore CA/CC 0...12 V/ 3 A @115V | 1002775 (U117601-115) |
| 1 Galvanometro zero | 1023786 |
| 1 Decade di resistenze 100 Ω | 1002732 (U11182) |
| 1 Decade di resistenze 1 k Ω | 1002733 (U11180) |
| 1 Decade di resistenze 10 k Ω | 1002734 (U11181) |
| 1 Resistenze di precisione 100 Ω | 1009886 (U51004) |
| 1 Resistenze di precisione 1 k Ω | 1009887 (U51005) |
| 1 Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm | 1002843 (U138021) |

MONTAGGIO ED ESECUZIONE

Avvertenze per la sicurezza:

Non superare la massima tensione ammessa pari a 8 V e la massima corrente ammessa pari a 1,5 A.

Interrompere l'alimentazione di corrente, se il galvanometro zero è sovrarmato.

- Preparare l'esperimento come mostrato in Fig. 1. A tale scopo unire la presa di collegamento destra nera del ponte di resistenze con il polo negativo dell'alimentatore e, tramite le resistenze collegate in serie, con la presa "COM" del galvanometro zero. Unire la presa di collegamento sinistra rossa del ponte di resistenze con il polo positivo dell'alimentatore e, tramite la resistenza di precisione 100 Ω e 1 k Ω , con la presa "COM" del galvanometro zero. Collegare la seconda presa del galvanometro zero al contatto strisciante del ponte di resistenze. Non accendere ancora l'alimentatore.
- Sul galvanometro zero selezionare il range di misura 50 μ A e verificare che l'indicatore sia posizionato sul punto zero. Eventualmente effettuare una taratura a zero, ruotando la vite di registro posta sulla piastra anteriore.

Le resistenze di precisione fungono da resistenze da misurare R_x , le resistenze collegate a cascata servono invece a impostare varie resistenze di riferimento fisse R_{rif} .

La resistenza $R_x = 100 \Omega$ viene misurata per le resistenze di riferimento $R_{rif} = 10 \Omega, 50 \Omega, 100 \Omega, 500 \Omega$ e 1 k Ω (tab. 1), la resistenza $R_x = 1 \text{ k}\Omega$ per $R_{rif} = 100 \Omega, 500 \Omega, 1 \text{ k}\Omega, 5 \text{ k}\Omega$ e 10 k Ω (tab. 2). Il procedimento viene descritto in seguito.

All'inizio della serie di misurazioni:

- Sul galvanometro zero selezionare il range di misura 5 mA.
- Impostare la resistenza di riferimento più piccola.
- Posizionare il contatto strisciante su $s_1 \approx 90 \text{ cm}$.
- Accendere l'alimentatore e regolare una tensione di 5 V.

Registrazione dei valori misurati:

- Portare il contatto strisciante nella posizione in cui il galvanometro zero non indica più alcuna corrente trasversale (taratura zero del ponte di resistenze).
- Sul galvanometro zero selezionare il range di misura 50 μ A ed effettuare una taratura a zero il più possibile precisa.
- Con l'ausilio dell'indicatore posto sul contatto strisciante determinare la lunghezza s_1 del primo segmento sulla scala della guida e annotarla nella tab. 1 e/o 2.
- Sul galvanometro zero selezionare il range di misura 5 mA.
- Regolare gradualmente la successiva resistenza di riferimento più alta e tarare nuovamente a zero il ponte di resistenze, come descritto in precedenza. In ogni fase prestare attenzione a che il galvanometro zero non sia sovrarmato. Eventualmente regolare di nuovo approssimativamente il contatto strisciante.

ESEMPIO DI MISURAZIONE E ANALISI

Tab. 1: Misurazione della resistenza $R_x = 100 \Omega$. Resistenze di riferimento impostate R_{rif} , lunghezze misurate s_1 e valori della resistenza risultanti con gli errori di misurazione in base all'equazione (4).

| $R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Valore nominale | $R_{ref} \pm \Delta R_{ref} / \Omega$ | $s_1 \pm \Delta s_1 / \text{cm}$ | $R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Risultato |
|--|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| 100 \pm 1 | 10.00 \pm 0.05 | 91.00 \pm 0.05 | 101.1 \pm 0.8 |
| | 50.00 \pm 0.25 | 66.80 \pm 0.05 | 100.6 \pm 0.6 |
| | 100.0 \pm 0.5 | 50.10 \pm 0.05 | 100.4 \pm 0.5 |
| | 500.0 \pm 2.5 | 16.80 \pm 0.05 | 101.0 \pm 0.6 |
| | 1000 \pm 5 | 9.15 \pm 0.05 | 100.7 \pm 0.8 |

Tab. 2: Misurazione della resistenza $R_x = 1 \text{ k}\Omega$. Resistenze di riferimento impostate R_{rif} , lunghezze misurate s_1 e valori della resistenza risultanti con gli errori di misurazione in base all'equazione (4).

| $R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Valore nominale | $R_{ref} \pm \Delta R_{ref} / \Omega$ | $s_1 \pm \Delta s_1 / \text{cm}$ | $R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Risultato |
|--|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| 1000 \pm 10 | 100.0 \pm 0.5 | 91.00 \pm 0.05 | 1011 \pm 8 |
| | 500.0 \pm 2.5 | 66.75 \pm 0.05 | 1004 \pm 6 |
| | 1000 \pm 5 | 50.05 \pm 0.05 | 1002 \pm 5 |
| | 5000 \pm 25 | 16.75 \pm 0.05 | 1006 \pm 6 |
| | 10000 \pm 50 | 9.15 \pm 0.05 | 1007 \pm 8 |

- In base alle lunghezze misurate s_1 (tab. 1, tab. 2) calcolare con l'ausilio dell'equazione (3) i valori R_x di diverse resistenze di riferimento R_{rif} e con l'ausilio dell'equazione (4) calcolare gli errori di misurazione ΔR_x e annotare i risultati nella tab. 1.
- Per mezzo degli errori di misurazione ricavati dalla misurazione di determinati valori di R_x mettere a confronto le diverse resistenze di riferimento R_{rif} o lunghezze s_1 con i valori nominali.

Conclusione:

Nei limiti degli errori di misurazione, per tutte le resistenze di riferimento o posizioni, i valori misurati corrispondono in buona parte con i relativi valori nominali. Nello specifico, al centro del filo per resistenze con $s_1 = s_2 = 50 \text{ cm}$, l'errore di misurazione raggiunge il valore minore e nel range $10 \text{ cm} \leq s_1 \leq 90 \text{ cm}$ varia in modo non significativa (cfr. fig. 3).

ULTERIORI METODI DI MISURAZIONE

Taratura a zero tramite l'adattamento della resistenza di riferimento

- Posizionare il contatto strisciante al centro del filo per resistenze con $s_1 = s_2 = 50$ cm.
- Sulle resistenze collegate a cascata impostare una resistenza di riferimento tale che l'indicatore del galvanometro zero oscilli il più vicino possibile alla posizione zero.
- Spostare il contatto strisciante dalla posizione in cui l'indicatore del galvanometro zero si trova precisamente sulla posizione zero e determinare la resistenza da misurare.

Resistenza di riferimento fissa per diverse resistenze da misurare

- Scambiare le resistenze di precisione con le resistenze collegate a cascata, in modo tale che le resistenze di precisione fungano da resistenze di riferimento fisse R_{rif} e le resistenze collegate a cascata servano a regolare le diverse resistenze R_x