



ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA Repository Istituzionale

Moltiplicazione virtuale dei campioni di resistenza elettrica tramite reti Hamon

Original

Moltiplicazione virtuale dei campioni di resistenza elettrica tramite reti Hamon / Capra, P.P., Lanzillotti, M., Roncaglione Tet, L., Francone, F., Galliana, F.. - (2026), pp. 327-328. (X Forum Nazionale delle Misure REGGIO CALABRIA 7-9 Settembre 2026).

Availability:

This version is available at: 11696/90359 since: 2026-10-06T10:41:53Z

Publisher:

GMEE

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

GMEE

Copyright degli Autori

(Article begins on next page)

associazione italiana
gme
gruppo misure
elettriche ed elettroniche

MMT
Gruppo Nazionale



FORUM
NAZIONALE
DELLE MISURE

10 EDIZIONE

ATTI DEL **X** FORUM NAZIONALE DELLE MISURE

REGGIO CALABRIA, 7-9 SETTEMBRE 2026

43° Congresso Nazionale di **Misure Elettriche ed Elettroniche**

34° Congresso Nazionale di **Misure Meccaniche e Termiche**

Moltiplicazione virtuale dei campioni di resistenza elettrica tramite reti Hamon

P. P. Capra⁽¹⁾, F. M. Lanzillotti⁽¹⁾, L. Roncaglione Tet⁽¹⁾, F. Francone⁽¹⁾, F. Galliana⁽¹⁾

(1) Div. di Metrologia Applicata e Ingegneria, Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Strada delle Cacce 91 - 10135 Torino

p.capra@inrim.it

1. INTRODUZIONE

La riferibilità ad alta precisione della resistenza in corrente continua (DC) nell'intervallo compreso fra 1 Ω e 10 k Ω è strettamente collegata alla realizzazione dell'effetto Hall quantistico (QHE) e all'impiego di comparatori criogenici di corrente (CCC) [1,2]. I laboratori dotati di tali sistemi operano al massimo livello di accuratezza metrologica, ma queste configurazioni, pur rappresentando lo stato dell'arte, sono complesse, costose e non sempre disponibili per il mantenimento ordinario della scala. Nei laboratori privi di accesso diretto ai sistemi QHE o CCC [3], la riferibilità viene normalmente stabilita a partire da campioni di riferimento tarati, comunemente da 100 Ω , dai quali si realizza una scala operativa mediante confronti 1:10 eseguiti con un ponte a comparatore di corrente ad alta precisione. In una catena decadica lineare, tuttavia, l'incertezza tende ad accumularsi con il numero di trasferimenti, penalizzando i valori più lontani dal punto di ingresso della riferibilità.

Nel presente lavoro, due reti Hamon [4] sono integrate nella struttura a decadi, così da creare molteplici riferimenti fisici e virtuali per ciascuna decade con un totale complessivo di soli 7–8 campioni circa, contro i 10–15 richiesti dagli approcci tradizionali. Questa impostazione riduce il rischio di deriva a lungo termine e limita l'onere di manutenzione e riallineamento dei campioni. La scala di resistenza viene pertanto interpretata non più come una semplice successione di confronti lineari, ma come una rete di misura vincolata, nella quale più percorsi concorrenti contribuiscono alla stima dei valori decadici. L'obiettivo di questa memoria è quantificare, sotto ipotesi conservative, il beneficio in termini di incertezza offerto da questa architettura potenziata mediante reti Hamon e dimostrarne l'impatto sulle procedure pratiche di taratura. L'analisi teorica degli errori nelle reti di resistori serie-parallelo è stata studiata in dettaglio in [5].

2. ARCHITETTURA DEL SISTEMA DI MISURA

Nel range considerato, la struttura minima di riferimento è schematizzata in Fig. 1, e consiste in cinque campioni di resistenza corrispondenti alle decadi 1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω e 10 k Ω . Le decadi adiacenti sono interconnesse tramite misure di rapporto 1:10 effettuate con un ponte di elevata accuratezza. Nella configurazione tradizionale, tali confronti danno origine a una catena lineare di riferibilità, nella quale l'incertezza aumenta con il numero di passaggi di trasferimento. In particolare, i valori estremi della scala (1 Ω e 10 k Ω) risultano dipendenti da due trasferimenti consecutivi 1:10 rispetto al campione di riferimento da 100 Ω . Per superare tale limitazione, sono state introdotte due reti Hamon con rapporto 100:1:

- una rete composta da 10 resistori da 10 Ω , utilizzata per collegare 1 Ω e 100 Ω ;
- una rete composta da 10 resistori da 1 k Ω , utilizzata per collegare 100 Ω e 10 k Ω .

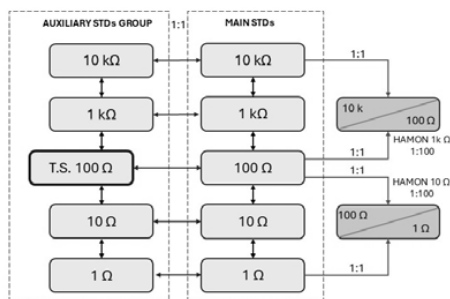


Fig. 1. Architettura per la scala di resistenza a decadi. Un insieme di campioni di resistenza, tra 1 Ω e 10 k Ω , è integrato da due reti di trasferimento Hamon 100:1, che collegano rispettivamente 1 Ω a 100 Ω e 100 Ω a 10 k Ω . Questa configurazione consente ai campioni da 1 Ω e 10 k Ω di operare col riferimento da 100 Ω con trasferimenti 100:1, fornendo un doppio percorso di vincolo per le decadi estreme. Le decadi intermedie (10 Ω e 1 k Ω) beneficiano sia di misure di rapporto 1:10 sia delle corrispondenti misure inverse 10:1, riducendo gli effetti dovuti all'inversione o allo scambio delle configurazioni del ponte di misura e migliorando la coerenza della scala.

Ciascuna rete Hamon può operare sia in configurazione serie sia in configurazione parallelo, consentendo trasferimenti diretti con rapporto 100:1 tra decadi non adiacenti. Il campione da 100 Ω

costituisce il punto di ingresso della riferibilità, essendo tarato esternamente, ed è l'elemento centrale della scala. Tutti i confronti 1:10 e 1:100 vengono eseguiti all'interno di una singola sessione di misura generando un insieme di vincoli ridondanti sui valori dei nodi della scala. Anziché affidarsi esclusivamente alla propagazione sequenziale della riferibilità, ciascuna decade estrema è ulteriormente vincolata da un trasferimento diretto 100:1 rispetto al riferimento da 100 Ω . Di conseguenza, la tradizionale catena di decenni viene trasformata in una rete di misura nella quale il valore di ciascuna decade è stimato attraverso molteplici percorsi di trasferimento; le decenni estreme, inoltre, non dipendono più solo da due passaggi consecutivi con rapporto 1:10. Questa struttura consente anche l'adozione di una procedura di taratura basata su due determinazioni indipendenti del valore del resistore in prova. Ad esempio, un resistore incognito da 10 k Ω può essere valutato sia mediante confronto diretto con il campione mantenuto da 10 k Ω , sia mediante confronto con un valore di 10 k Ω trasferito dal riferimento da 100 Ω attraverso la rete Hamon. Le due determinazioni vengono eseguite nella medesima sessione di misura e successivamente combinate per ottenere il risultato finale. Questa architettura offre quindi sia un miglioramento nel mantenimento della scala interna di resistenza sia un metodo pratico per sfruttare percorsi di riferimento multipli e indipendenti.

3. INCERTEZZA DI MISURA

È stato utilizzato un modello semplificato di valutazione dell'incertezza per confrontare tre diverse configurazioni di scaling derivate dallo schema di riferibilità di Figura 1. La prima configurazione è una catena a decenni con trasferimenti 1:10 a partire dal riferimento da 100 Ω ; la seconda include i due collegamenti Hamon con rapporto 100:1; la terza rappresenta la modalità standard multiplier, nella quale due determinazioni indipendenti dello stesso valore vengono combinate. La Tabella I riassume i livelli di incertezza per i valori mantenuti dei nodi della scala nelle tre configurazioni.

Tabella 1. Incertezza complessiva associata ai valori dei nodi della scala ($n\Omega/\Omega$, $k = 1$)

Valore del nodo	Catena semplice	V Con rete Hamon	Modalità moltiplicatore
1 Ω	99,5	40,2	37,5
10 Ω	70,7	54,3	52,0
100 Ω	10,0	11,3	11,0
1 k Ω	70,7	53,4	50,5

CONCLUSIONI

È stata presentata e valutata un'architettura a decenni potenziata mediante reti Hamon per la tracciabilità della resistenza tra 1 Ω e 10 k Ω . Rispetto a una tradizionale catena di trasferimento con rapporti 1:10, la rete di misura proposta riduce l'incertezza nelle decenni estreme, mantenendo al contempo il campione da 100 Ω come punto di riferimento della riferibilità. L'architettura consente l'implementazione di una procedura di taratura basata su due determinazioni indipendenti, nella quale un resistore incognito viene valutato mediante percorsi di riferimento indipendenti all'interno della stessa sessione di misura. Questo approccio fornisce una riduzione dell'incertezza di taratura. I risultati dimostrano che l'integrazione di trasferimenti Hamon con rapporto 100:1 all'interno di una scala di resistenza a decenni trasforma una struttura di scala sequenziale in una rete di misura vincolata, offrendo una soluzione robusta e continuamente disponibile per il mantenimento di resistenze campione ad alta accuratezza.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] K. v. Klitzing, and G. Ebert, "Application of the Quantum Hall Effect in Metrology", Metrologia, Vol. 21, pp. 11– 18, 1985.
- [2] A Hartland, "The Quantum Hall Effect and Resistance Standards," Metrologia, Vol. 29, no. 2. pp. 175– 190, 1992.
- [3] M. Gotz et al., Improved Cryogenic Current Comparator Setup with Digital Current Sources," IEEE Trans. Instrum. Meas, vol. 58, no. 4, pp. 1176-1182, April 2009.
- [4] Hamon, B. V. "A 1-100 Ω build-up resistor for the calibration of standard resistors," Journal of Scientific Instruments 31.12 (1954): 450.
- [5] C. H. Page, "Errors in the series-parallel buildup of four-terminal resistors," J. Res. Nat. Bur. Stand., vol. 69C, pp. 181–187, 1965.
- [6] JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement, First ed.