

Misure su effetto Hall quantistico in criostato senza elio

*Original*

Misure su effetto Hall quantistico in criostato senza elio / Medved, J.; Callegaro, L.; Cassiago, C.; Cultrera, A.; D'Elia, V.; Enrico, E.; Gasparotto, E.; Marzano, M.; Ortolano, M.; Pierz, K.. - ELETTRONICO. - (2024), pp. 205-206. (Intervento presentato al convegno VIII FORUM NAZIONALE DELLE MISURE tenutosi a S. Vincenzo (LI) nel 12-14 Settembre 2024).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2992822 since: 2024-10-01T08:30:30Z

*Publisher:*

Università degli Studi di Pisa

*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*

(Article begins on next page)

## Misure su effetto Hall quantistico in criostato senza elio

J. Medved<sup>(1,2)</sup>, L. Callegaro<sup>(1)</sup>, C. Cassiogo<sup>(1)</sup>, A. Cultrera<sup>(1)</sup>, V. D'Elia<sup>(1)</sup>,  
E. Enrico<sup>(1)</sup>, E. Gasparotto<sup>(1)</sup>, M. Marzano<sup>(1)</sup>, M. Ortolano<sup>(1)</sup>, K. Pierz<sup>(3)</sup>,

<sup>(1)</sup>INRIM - Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, st. d. Cacce 91, 10135 Torino

<sup>(2)</sup>Dip. Elettronica e Telecomunicazioni, Politecnico di Torino, C.so Duca d. Abruzzi 24, 10129 Torino

<sup>(3)</sup>PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

e.mail autore di riferimento: j.medved@inrim.it

### 1. INTRODUZIONE

L'INRIM, in accordo col nuovo Sistema Internazionale di unità, realizza le unità di resistenza e impedenza elettrica per mezzo dell'effetto Hall quantistico. Il valore della resistenza quantizzata di Hall (QHR) è scalato in regime continuo con ponti a comparatore di correnti continue, e in regime alternato con ponti di impedenza digitali [1, 2]. L'impiego di dispositivi in grafene [3] consente di effettuare la realizzazione a temperature più elevate e campi magnetici più bassi di quelli necessari con i tradizionali dispositivi a semiconduttore. L'impiego di un criomagnete *dry*, che non impiega elio liquido, consente una riduzione dei costi di gestione e di personale necessari, e tempi più lunghi per la sperimentazione e la misura. Questa memoria presenta i primi esperimenti per la realizzazione dell'unità di resistenza e impedenza in un criostato *dry*. Sono state svolte misure di resistenza, in regime continuo, di un campione Hall in grafene per verificarne le condizioni di quantizzazione.

### 2. SISTEMA CRIOMAGNETICO

La figura 1A mostra il criomagnete *dry* impiegato, che include anche un refrigeratore a diluizione e un magnete superconduttore da 9 T. I diversi stadi A1.1–A1.5 vengono raffreddati da un ciclo termodinamico chiuso a temperature progressivamente inferiori. Il portacampioni A2 è connesso a un dito freddo termicamente collegato all'ultimo stadio, ed è inserito nel criomagnete (non mostrato in figura). La figura 1B mostra il criomagnete B2 in condizioni operative, con la camera a vuoto chiusa. B1 è l'alimentatore di corrente del magnete superconduttore. B3 è l'unità di controllo e di gestione del gas del criomagnete. Il criostato viene chiuso e posto in vuoto 0.1 mPa; il processo di raffreddamento porta il dito freddo alla temperatura di circa 2.6 K in due giorni.

### 3. CARATTERIZZAZIONI

Il sistema di caratterizzazione in regime continuo è costituito come segue. Una sorgente di corrente (ADRET 103A) e un voltmetro (Agilent 34401), sono rispettivamente dedicati alla polarizzazione del campione ed alla misura di tensione tra i contatti opposti del campione. Un nanovoltmetro (Agilent

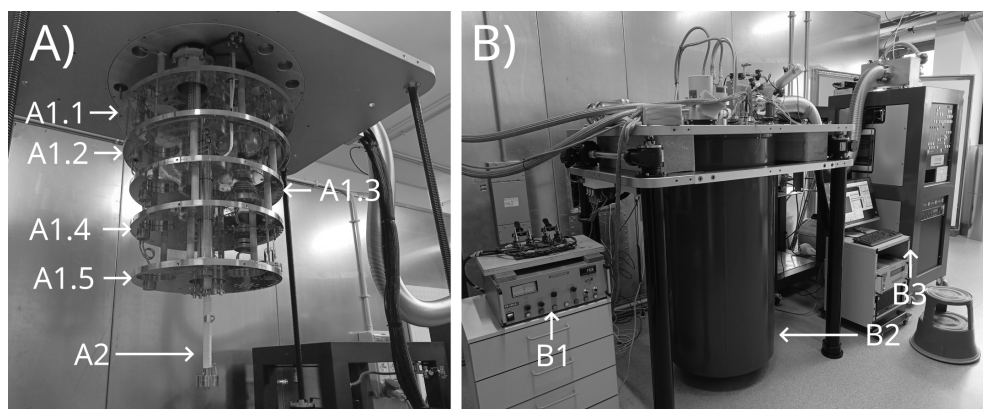


Figura 1: Criostato *dry* impiegato per la realizzazione delle misure.

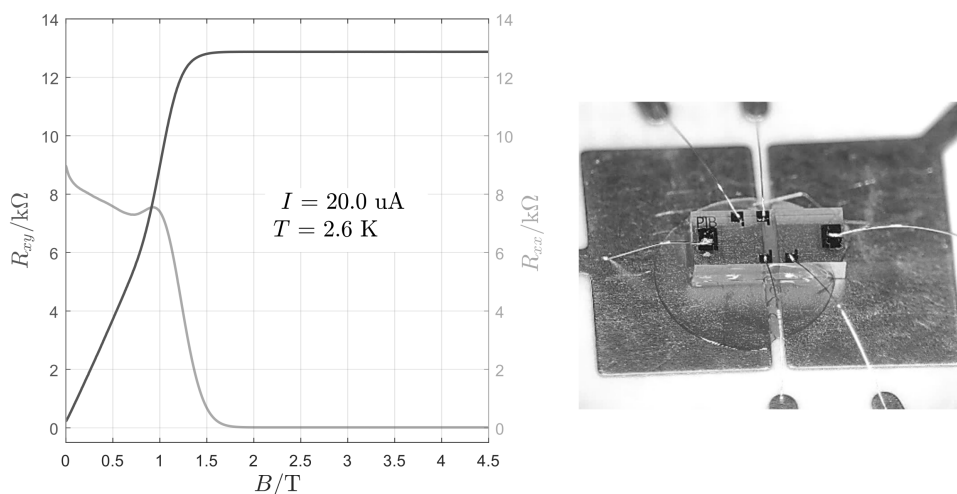


Figura 2: A sinistra sono riportati i risultati delle resistenze trasversale  $R_{xy}$  e longitudinale  $R_{xx}$  in funzione del campo magnetico ortogonale. A destra è mostrato il campione di grafene utilizzato per le misure.

34420A) è impiegato per la misura della tensione tra i contatti adiacenti. Un voltmetro (Agilent 34401) monitora l'alimentazione del criomagnete.

#### 4. RISULTATI SPERIMENTALI PRELIMINARI

La Fig. 2A mostra le resistenze trasversale ( $R_{xy}$ ) e longitudinale ( $R_{xx}$ ).  $R_{xy}$  cresce all'aumentare del campo magnetico applicato per poi raggiungere un plateau a circa 2 T. In corrispondenza del plateau,  $R_{xx}$  scende fino a zero, segno che la condizione di quantizzazione è stata raggiunta. In figura Fig. 2B è mostrato il campione di grafene utilizzato. In seguito, un resistore standard di 1 kΩ è stato confrontato con la  $R_{xy}$  utilizzando un ponte di resistenza (Measurements International 6010D). Quindi, lo stesso resistore è stato misurato rispetto al riferimento primario tarato presso INRIM. La differenza tra il valore di QHR e  $R_{xy}$  misurata utilizzando il riferimento primario è  $0.221(27) \mu\Omega \Omega^{-1}$ .

#### 5. CONCLUSIONI

Sono state effettuate le prime misure dell'effetto Hall quantistico con il nuovo refrigeratore a diluizione ed è stata possibile una misurazione rispetto a un campione di resistenza. Anche se l'incertezza della misura non è ancora sufficiente per sostituire il metodo tradizionale, questo è stato il primo passo verso la realizzazione di unità di impedenza in un criostato dry. Verranno effettuati lavori futuri sulla sonda e sul supporto del campione per migliorare l'accuratezza dei risultati.

#### RINGRAZIAMENTI

This work has been supported by the project CAPSTAN *Quantum electrical Italian national capacitance standard* funded by the MIUR *Progetti di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) Bando 2020*, grant 2020A2M33J. The project 23FUN07 QuAHMET has received funding from the European Partnership on Metrology, co-financed from the European Union's Horizon Europe Research and Innovation Programme and by the Participating States.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] M. Marzano, V. D'Elia, M. Ortolano, and L. Callegaro, "Primary realization of inductance and capacitance scales with a fully digital bridge," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 71, pp. 1–8, 2022.
- [2] M. Marzano, Y. Pimsut, M. Kruskopf, Y. Yin, M. Kraus, V. D'Elia, L. Callegaro, M. Ortolano, S. Bauer, and R. Behr, "PTB-INRIM comparison of novel digital impedance bridges with graphene impedance quantum standards," *Metrologia*, vol. 59, no. 6, p. 065001, 2022.
- [3] M. Kruskopf, S. Bauer, Y. Pimsut, A. Chatterjee, D. K. Patel, A. F. Rigosi, R. E. Elmquist, K. Pierz, E. Pesel, M. Götz *et al.*, "Graphene quantum hall effect devices for AC and DC electrical metrology," *IEEE transactions on electron devices*, vol. 68, no. 7, pp. 3672–3677, 2021.