



## ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA Repository Istituzionale

Il progetto QuAHMET, Quantum anomalous Hall effect materials and devices for metrology: attività all'INRIM

This is the author's accepted version of the contribution published as:

*Original*

Il progetto QuAHMET, Quantum anomalous Hall effect materials and devices for metrology: attività all'INRIM / Callegaro, Luca; Marzano, Martina; Medved, Juan; Gould, C.; Hoffmann, J.; Huang, N.; -Kaneko, N. H.; Kucera, J.; Molenkamp, L. W.; Onbasli, M. C.; Ozbay, A. G.; Scherer, H.; Kumar, S.. - (2024), pp. 215-216.

*Availability:*

This version is available at: 11696/82240 since: 2024-11-07T10:13:04Z

*Publisher:*

*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)

## IL PROGETTO QuAHMET, QUANTUM ANOMALOUS HALL EFFECT MATERIALS AND DEVICES FOR METROLOGY: ATTIVITÀ ALL'INRIM

L. Callegaro<sup>(1)</sup>, C. Cassiago<sup>(1)</sup>, A. Cultrera<sup>(1)</sup>, V. D'Elia<sup>(1)</sup>, E. Enrico<sup>(1)</sup>, L. Fasolo<sup>(1)</sup>,  
E. Gasparotto<sup>(1)</sup>, M. Marzano<sup>(1)</sup>, J. Medved<sup>(1,2)</sup>, M. Ortolano<sup>(2)</sup>, D. Serazio<sup>(1)</sup>, S. Kumar<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>JV - Justervesenet - Norwegian Metrology Service, Fetveien 99, 2007 Kjeller, Norway

e.mail autore di riferimento: l.callegaro@inrim.it

### 1. INTRODUZIONE

L'effetto Hall quantistico (quantum Hall effect, QHE) è la base della realizzazione dell'unità SI di resistenza elettrica, l'ohm ( $\Omega$ ). I dispositivi QHE oggi impiegati sono in materiale semiconduttore (GaAs); il regime di quantizzazione si ottiene a bassa temperatura (1 K) e elevati campi magnetici (10 T), il che rende difficoltosa l'adozione al di fuori degli istituti metrologici primari. I dispositivi in grafene, più recenti [1] e ancora in fase di adozione attenuano solo in parte la difficoltà.

Nuovi materiali, gli *isolanti topologici*, mostrano il cosiddetto effetto Hall quantistico anomalo (Quantum Anomalous Hall Effect, QAHE) [2] anche in condizioni di campo magnetico debole o nullo, e suggeriscono la possibilità di realizzare campioni quantistici di resistenza che richiedano condizioni sperimentali più accessibili.

Il progetto *QuAHMET* — *Quantum anomalous Hall effect materials and devices for metrology* è un Joint Research Project dell'European Partnership on Metrology [3], sotto l'egida *Horizon Europe* della Commissione Europea, che si pone l'obiettivo di studiare il QAHE come campione quantistico di resistenza elettrica e promuoverne l'adozione.

### 2. IL PROGETTO: OBIETTIVI

Gli obiettivi specifici del progetto sono:

1. il miglioramento delle tecniche di crescita di isolanti topologici con doping magnetico (tra cui  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  and  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ) per epitassia a fascio molecolare;
2. la caratterizzazione delle proprietà elettroniche, strutturali, magnetiche e magnetooptiche dei campioni in diverse condizioni di temperatura, corrente e campo magnetico;
3. lo studio delle proprietà magnetiche e strutturali con risoluzione spaziale, con metodi a scansione e magnetometria a bassa temperatura;
4. l'impiego di tecniche di metrologia primaria per la misura dei campioni QAHE ottimizzati, sia a temperature inferiori che superiori a 1 K, correnti superiori a 1  $\mu\text{A}$  e campi magnetici deboli o nulli.
5. la disseminazione e la spinta all'adozione della tecnologia sviluppata nel progetto verso le organizzazioni metrologiche e normative, gli utenti finali, gli sviluppi applicativi quali spintronica e topological quantum computing.

#### 2.1. IL PROGETTO: IMPLEMENTAZIONE

Il progetto è diviso in cinque workpackage, che interagiscono come mostrato in Fig. 1. Il Workpackage 5 è dedicato alla gestione del progetto. Il consorzio del progetto include 14 partners; tra questi, 7 istituti metrologici primari europei e uno giapponese, e 6 istituzioni universitarie e di ricerca applicata. La geografia dei partner è mostrata in Fig. 2.

### 3. ATTIVITÀ ALL'INRIM

L'INRIM è coinvolto nel progetto sui seguenti filoni principali:

- la realizzazione di un sistema di caratterizzazione elettrica che consenta sia la misura rapida di caratteristiche  $I - V$  (in funzione del campo magnetico e della corrente applicata) dei dispositivi

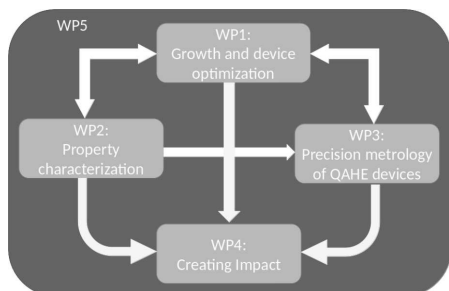


Figura 1: Rappresentazione grafica delle interazioni tra i cinque workpackage del progetto.

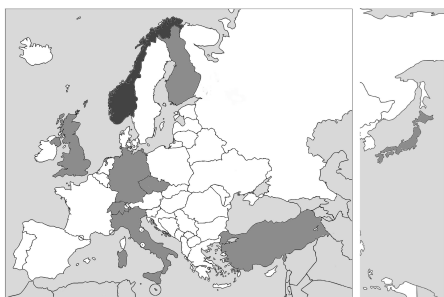


Figura 2: Mappa degli Stati dei partner del progetto.

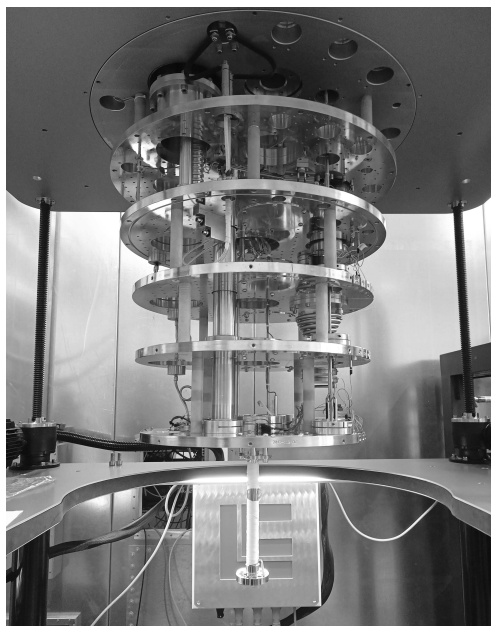


Figura 3: Il criomagnete a diluizione per gli esperimenti QAHE presso l'INRIM. Il portacampioni è all'estremo inferiore del sistema ed è inserito nel criomagnete a 9 T.

QAHE, sia, per campo fissato, misure accurate di resistenza di Hall (con target di accuratezza relativa  $10^{-5}$ );

- la caratterizzazione dei dispositivi QAHE prodotti dai partner in un ambiente criogenico. Allo scopo è impiegato un criostato a diluizione, a secco, che consente di raggiungere temperature base inferiori a 100 mK, e dotato di un magnete superconduttore per campi magnetici sino a 9 T;
- la gestione del workpackage *Impact* del progetto.

#### 4. PER CONNETTERSI AL PROGETTO

Il progetto segue una politica di *open science*. Le università, istituzioni di ricerca, laboratori metrologici sono benvenuti come *stakeholders* del progetto, che comunicherà con loro attraverso:

- il sito web, [sites.google.com/inrim.it/quahmet/home](https://sites.google.com/inrim.it/quahmet/home)
- il canale LinkedIn, [www.linkedin.com/groups/8824119/](https://www.linkedin.com/groups/8824119/)
- il canale YouTube, [www.youtube.com/channel/UCaHuyb8YzrjPnLUz7nSiauA](https://www.youtube.com/channel/UCaHuyb8YzrjPnLUz7nSiauA)
- una newsletter periodica.

Per connettersi al progetto, contattare Martina Marzano ([m.marzano@inrim.it](mailto:m.marzano@inrim.it)).

#### RINGRAZIAMENTI

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] A. Chatterjee, M. Kruskopf, M. Götz, Y. Yin, E. Pesel, P. Gournay, B. Rolland, J. Kučera, S. Bauer, K. Pierz, B. Schumacher, and H. Scherer, "Performance and stability assessment of graphene-based quantum Hall devices for resistance metrology," *IEEE Trans. Instr. Meas.*, vol. 72, pp. 1–6, 2023.
- [2] C.-Z. Chang, C.-X. Liu, and A. H. MacDonald, "Colloquium: Quantum anomalous Hall effect," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 95, p. 011002, Jan 2023.
- [3] "European Partnership on Metrology." [Online]. Available: <https://www.euramet.org/research-innovation/metrology-partnership>