

# Marco Faverzani

Università degli Studi di Milano–Bicocca  
Dipartimento di Fisica “G. Occhialini”

Email: [marco.faverzani@mib.infn.it](mailto:marco.faverzani@mib.infn.it)  
Scopus Author Identifier: 54406745800

## Educazione

- 3 dicembre 2007 **Laurea di primo livello in Fisica**. Titolo tesi: “Caratterizzazione di un criorefrigeratore a tubo pulsato per l’esperimento CUORE”, relatore: Prof. A. Nucciotti, co-relatore: Dott. D. Schaeffer, Università degli Studi di Milano–Bicocca. Voto 105/110.
- 30 novembre 2010 **Laurea magistrale in Fisica**. Titolo tesi: “Primi risultati di un esperimento per la misura diretta della massa del neutrino con rivelatori termici”, relatore: Prof. A. Nucciotti, co-relatore: Prof. F. Gatti, Università degli Studi di Milano–Bicocca. Voto 110/110 e lode.
- 4 giugno 2015 **Dottorato di ricerca in Fisica e Astronomia**. Titolo tesi: “Superconducting microwave microresonators for neutrino physics”, advisor: Prof. A. Nucciotti, Università degli Studi di Milano–Bicocca.

## Esperienze professionali

### *Borse*

- **2011** – Vincitore bando di concorso nazionale INFN per neo-laureati (*rinunciato*).
- **Novembre 2011 - Ottobre 2014** – Borsa ministeriale per dottorato di ricerca presso Università degli Studi di Milano–Bicocca. Tesi dal titolo: *Superconducting microwave microresonators for neutrino physics*.

### *Assegni di ricerca*

- **Giugno 2011 - Ottobre 2011** – Assegnista di ricerca presso Università degli Studi di Milano–Bicocca dal titolo *Installazione e ottimizzazione del sistema di read-out criogenico a microonde per micro-risonatori a superconduttore*.
- **Novembre 2014 - Dicembre 2015** – Assegnista di ricerca presso Università degli Studi di Milano–Bicocca dal titolo *Sviluppo di array di microcalorimetri a transizione di fase superconduttiva con lettura a microonde per la misura della massa del neutrino in HOLMES*.
- **Gennaio 2016 - Dicembre 2019** – Assegnista di ricerca presso Università degli Studi di Milano–Bicocca (*Tipo A2*) con tema *Sviluppo di rivelatori superconduttivi applicati alla fisica del neutrino*.

### *Contratti*

- **Febbraio 2020 - presente** – Ricercatore a Tempo Determinato di tipo A presso Università degli Studi di Milano–Bicocca settore scientifico-disciplinare FIS/04, titolo della ricerca “Misura diretta della massa del neutrino con rivelatori a bassa temperatura”.

## Esperienze di ricerca

Il mio interesse scientifico ha riguardato e riguarda la fisica del neutrino con particolare attenzione alla misura diretta della sua massa e alla ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini. La mia esperienza su questi temi si basa sulla partecipazione ai seguenti progetti:

- **Esperimento MARE:** l'esperimento MARE (Microcalorimeter Arrays for a Rhenium experiment), effettuato da una collaborazione internazionale di cui ho fatto parte, si poneva come scopo la misura diretta della massa del neutrino per via calorimetrica. MARE era costituito da una collezione di attività finalizzata alla scelta della miglior combinazione isotopo/tecnica di rivelazione. Io ho lavorato in una di queste attività, MARE-1 a Milano, dove ho dato un contributo sostanziale all'installazione e ottimizzazione del set-up sperimentale criogenico. Scopo di questa attività era il raggiungimento di una sensibilità sulla massa del neutrino dell'ordine di qualche eV e lo studio delle sistematiche di tale approccio sperimentale. La rivelazione avveniva mediante l'impiego di rivelatori termici a bassa temperatura (rivelatori al silicio dopato con temperature di esercizio di qualche decina di mK) accoppiati a cristalli di perrenato di argento, un composto contenente l'isotopo 187 del renio. Questi, infatti, essendo uno degli isotopi che decadono beta con Q-valore tra i più bassi in natura (2.8 keV), era un ottimo candidato per l'impiego in un tale esperimento. Data l'elevata impedenza dei rivelatori impiegati il mio impegno ha riguardato principalmente l'ottimizzazione del set-up dal punto di vista termico e del rumore. Tale lavoro ha portato a ottenere una risoluzione energetica sul singolo canale di circa 30 eV nell'intervallo energetico di interesse.
- **Sviluppo di Microrisonatori Superconduttivi (MKID) per la fisica del neutrino:** i rivelatori MKID (Microwave Kinetic Inductance Detectors) costituiscono una tecnica di rivelazione relativamente giovane che sfrutta l'impedenza cinetica associata alle coppie di Cooper presenti in un superconduttore. Il grande vantaggio di tali rivelatori è la loro naturale abilità nel poter essere letti in parallelo utilizzando uno schema di lettura semplice. Il superconduttore, utilizzato per formare un circuito risonante nel range di frequenze del GHz, risponde all'energia assorbita variando la popolazione di coppie di Cooper, modificando di conseguenza il termine di induttanza cinetica e di resistenza dovuta alle quasi-particelle. Questo fa sì che l'assorbimento di energia risulti in una variazione del fattore di merito e della frequenza di risonanza. Disegnando risonatori con frequenze di risonanza diverse è possibile accoppiare risonatori a un'unica linea di lettura in un numero massimo determinato dalla banda di frequenza disponibile all'elettronica di read-out. Tali rivelatori sono attualmente sviluppati e maggiormente impiegati per applicazioni bolometriche. Durante il mio dottorato ho rivestito un ruolo di primissimo piano nel gruppo che ha lavorato per l'ambizioso sviluppo di rivelatori di raggi X nell'intervallo del keV. Mi sono occupato della primissima installazione dell'intero set-up necessario per la lettura dei rivelatori presso il laboratorio di criogenia del dipartimento di fisica dell'università degli studi di Milano-Bicocca. Tale set-up si è dimostrato in grado di poter leggere in coincidenza i segnali provenienti da due rivelatori differenti. Ho inoltre sviluppato il software necessario ad acquisire e analizzare i segnali in uscita dalla catena di lettura a omodina, convertendoli nelle quantità stimatrici dell'energia assorbita dai rivelatori. Infine, utilizzando tali strumenti, ho effettuato la caratterizzazione di svariati rivelatori estrapolando i parametri caratterizzanti i materiali utilizzati e le geometrie di design. Tale lavoro è confluito nella sigla INFN "KIDS\_RD", di cui sono tuttora membro attivo.
- **KIDS\_RD:** questo progetto è la continuazione naturale del lavoro da me svolto durante il dottorato di ricerca. Lo scopo principale del progetto è lo sviluppo di rivelatori MKID in modalità termica: questo consentirebbe di sfruttare le proprietà di tali rivelatori congiuntamente con le ottime prestazioni raggiungibili con rivelatori termici. La finalità è quella di applicare tali rivelatori alla spettroscopia X e alla fisica del neutrino.
- **CUORE e CUORE-0:** sono membro della collaborazione CUORE (Cryogenic Underground Observatory for Rare Events) a partire dal 2011. CUORE si propone di osservare il doppio decadimento beta senza neutrini esplorando la regione di gerarchia inversa degli autostati di massa del neutrino. Questo

obiettivo viene raggiunto mediante l'impiego di 988 rivelatori termici composti da  $\text{TeO}_2$  (ciascuno di massa 790 g) accoppiati a sensori NTD in germanio. Per raffreddare e mantenere l'enorme massa sperimentale alla temperatura di lavoro dei rivelatori (circa 10 mK) è stato progettato e realizzato il più grosso criorefrigeratore a miscela di  $^3\text{He}/^4\text{He}$  mai concepito. Questo refrigeratore utilizza come raffreddamento primario refrigeratori meccanici a tubo pulsato. Il mio coinvolgimento in CUORE ha riguardato lo sviluppo del sistema criogenico, in particolare la caratterizzazione e ottimizzazione dei refrigeratori a tubo pulsato. Ho inoltre partecipato nella selezione dei materiali utilizzati per la termalizzazione delle varie componenti del criostato. Infine ho effettuato analisi di basso livello.

- **HOLMES:** HOLMES è un esperimento finanziato tramite un grant ERC advanced partito nel 2014 il cui scopo è la misura diretta e calorimetrica della massa del neutrino mediante misurazioni cinematiche dei prodotti del decadimento del  $^{163}\text{Ho}$  ( $Q \approx 2.8$  keV). La sfida consiste nel acquisire un'elevata statistica (circa  $3 \times 10^{13}$  eventi in circa 3 anni di presa dati) pur mantenendo contenuta la frazione di eventi affetti da pile-up non risolto, ovvero quegli eventi che capitano all'interno di un intervallo di tempo inferiore alla risoluzione temporale del rivelatore. Questi, infatti, sono causa di un fondo indistinguibile che limita inevitabilmente la sensibilità raggiungibile sulla massa del neutrino. Allo scopo di raggiungere la sensibilità richiesta, HOLMES utilizzerà rivelatori a transizione di fase (TES) accoppiati ad assorbitori in oro in cui verranno impiantati nuclei di  $^{163}\text{Ho}$  in una quantità necessaria per raggiungere un'attività specifica di 300 Bq. Tali rivelatori dovranno essere caratterizzati da risoluzioni temporali ed energetiche dell'ordine del  $\mu\text{s}$  e dell'eV nel range di energia attorno all'end-point dello spettro. Al fine di acquisire elevata statistica pur mantenendo contenuta la frazione di eventi di pile-up, verranno impiegati 1000 rivelatori operanti in parallelo: per poter leggere questo grande numero di rivelatori con uno schema di lettura semplificato, verrà utilizzato uno schema di multiplexing a microonde in cui ciascun rivelatore è accoppiato a uno SQUID-rf, il quale è a sua volta accoppiato a un micro risonatore con frequenza di risonanza nel range del GHz: un segnale dal rivelatore viene perciò trasformato in una variazione della frequenza di risonanza. Sono stato membro della collaborazione HOLMES fin dalla sua nascita; il mio contributo ha riguardato la lettura dei segnali con il sistema di multiplex, l'allestimento dell'apparato sperimentale e l'effettuazione delle misure. Tale lavoro ha consentito di ottenere una risoluzione energetica di 4.5 eV FWHM alla riga  $K_\alpha$  della manganese con una frequenza di campionamento di 500 kHz: questo risultato è il migliore mai ottenuto con questa tecnica di lettura in questo range di frequenze. All'interno della collaborazione ho assunto il ruolo di coordinatore del working group "TES array".
- **SINGLES:** questo progetto di R&D si colloca in un contesto di sviluppo di tecnologie applicabili a esperimenti di prossima generazione volti alla ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini. In tali esperimenti la presenza di un fondo radioattivo dovuto ai materiali più vicini ai rivelatori costituisce un fondamentale limite che determina la massima sensibilità ottenibile. Un importante contributo al fondo radioattivo di esperimenti calorimetrici è costituito da contaminazioni superficiali che producono particelle alfa. I rivelatori sviluppati in questo progetto si propongono di applicare l'effetto Neganov-Luke a rivelatori termici di singolo fotone (nel campo del visibile) in modo da poter rivelare la luce Čerenkov la quale consente di discriminare interazioni di particelle alfa (dovute al fondo radioattivo) da interazioni di beta/gamma. In SINGLES il rivelatore di luce è composto da una slab di silicio in cui il segnale termico prodotto da un fotone incidente viene amplificato da una tensione costante.
- **PTOLEMY:** questo esperimento, i cui obiettivi sono unici nel panorama della ricerca, è finalizzato alla rivelazione di neutrini del fondo cosmico. In aggiunta, PTOLEMY offre la possibilità di effettuare la misura della massa del neutrino con sensibilità senza precedenti, grazie alla reiezione di eventi al di fuori della regione di interesse, caratteristica vantaggiosa degli spettrometri, unitamente all'elevata risoluzione energetica dei rivelatori termici che verranno impiegati. All'interno di PTOLEMY mi occupo della caratterizzazione e sviluppo dei rivelatori dell'esperimento.
- **DART WARS:** le finalità di questo progetto riguardano l'ambizioso sviluppo di un amplificatore *traveling wave* caratterizzato da bassissimo rumore per poterlo impiegare nelle più svariate applicazioni:

dalla ricerca di base (rivelazione assioni, multiplexing a microonde per readout di rivelatori criogenici) alle tecnologie quantistiche. Nel contesto di DART WARS mi occupo delle simulazioni RF e dei test a bassa temperatura dei dispositivi.

## Didattica

- **2013–2014:** Esercitatore per il corso di “*Fisica 2*” nel CdL in matematica
- **2013:** co-relatore di laurea di primo livello dal titolo “*Analisi dei segnali di microrisonatori superconduttivi*”
- **2014:** co-relatore di laurea di primo livello dal titolo “*Caratterizzazione di microrisonatori a superconduttore per la fisica del neutrino*”
- **2016:** co-relatore di laurea magistrale dal titolo “*The non linear behavior of the MKIDs resonators*”
- **2014–2021:** Docente per il corso “*Laboratorio 1*” nel CdL in fisica
- **2017:** co-relatore di laurea di primo livello dal titolo “*Caratterizzazione delle prestazioni di rivelatori a transizione di fase superconduttiva per la misura calorimetrica della massa del neutrino*”
- **2018:** co-relatore di laurea di primo livello dal titolo “*Ottimizzazione della lettura a microonde per i rivelatori criogenici dell’esperimento HOLMES*”
- **2019:** relatore di laurea di primo livello dal titolo “*Confronto delle performance di diversi rivelatori a transizione di fase superconduttiva applicati alla fisica del neutrino*”
- **2020:** co-relatore di tesi di laurea magistrale dal titolo “*Characterization and pulse processing of TES microcalorimeters array for the HOLMES experiment*”

## Scuole e conferenze

- **2011:** 4<sup>th</sup> Workshop on the Physics and Applications of Superconducting Microresonators, Grenoble (Francia).
- **2011 – Poster:** 14<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors, Heidelberg (Germania). Titolo presentazione: Development of Microresonator Detectors for Neutrino Physics in Milano
- **2012 – Poster:** 12<sup>th</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors Frontier detectors for frontier physics, Pisa (Italia). Titolo presentazione: Microresonator Detectors for Neutrino Physics in Milano
- **2012 – Poster:** International School on AstroParticle Physics (European Doctorate School), Parigi (Francia). Titolo presentazione: MKIDs: Microwave Kinetic Inductance Detectors
- **2012:** XXIV Seminario Nazionale di Fisica Nucleare e Subnucleare, Otranto (Italia).
- **2013 – Presentazione orale:** nuMass 2013, Milano (Italia). Titolo presentazione: MARE 1 in Milano

- **2013 – Poster:** 15<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors, Pasadena (CA, USA). Titolo presentazione: Development of superconducting microresonators for a neutrino mass experiment with  $^{163}\text{Ho}$
- **2013:** International School of Nuclear Physics, 35<sup>th</sup> course: Neutrino Physics, Present and Future, Erice (Italia).
- **2013 – Presentazione orale:** IEEE 2013 Nuclear Science Symposium, Seoul (Repubblica di Corea). Titolo presentazione: Development of micro-resonator detectors for neutrino physics in Milano
- **2014 – Presentazione orale:** Applied Superconductivity Conference, Charlotte (NC, USA). Titolo presentazione: Development of microresonator detectors for  $^{163}\text{Ho}$  end point measurement in Milano
- **2015:** 16<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors, Grenoble (Francia).
- **2015 – Presentazione orale:** 12<sup>th</sup> European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2015), Lione (Francia). Titolo presentazione: Superconducting detectors for neutrino mass measurement
- **2016 – Poster:** ECT\* workshop “Determination of the absolute electron (anti-)neutrino mass”, European Centre for Theoretical studies in nuclear physics and related areas, Trento (Italia). Titolo presentazione: Status of the HOLMES detector development
- **2016 – Presentazione orale:** 5<sup>th</sup> Workshop on the Physics and Application of Superconducting Microresonators (WPASM5), Milano (Italia). Titolo presentazione: MKIDs for x ray spectroscopy and neutrino mass measurement
- **2016 – Poster:** XXVII International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (NuPhys 2017), Londra (UK). Titolo presentazione: HOLMES
- **2017 – 2 Poster:** 17<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors, Kurume (Giappone). Titolo presentazioni: Electron-phonon coupling in Ti/TiN MKIDs multilayer microresonator; Development of Thermal Kinetic Inductance Detectors suitable for X-ray spectroscopy
- **2017 – Presentazione orale:** FisMat 2017, Trieste (Italia). Titolo presentazione: Direct calorimetric measurement of the neutrino mass with HOLMES
- **2018 – Presentazione orale:** ECT\* workshop “Determination of the absolute electron (anti-)neutrino mass”, European Centre for Theoretical studies in nuclear physics and related areas, Trento (Italia). Titolo presentazione: The HOLMES experiment
- **2018 – 2 Poster:** 14<sup>th</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors Frontier detectors for frontier physics, Pisa (Italia). Titolo presentazioni: High energy resolution thermal microcalorimeters for the HOLMES

experiment; Thermal kinetic inductance detectors for soft X-ray spectroscopy

- **2019 – Presentazione orale:** 18<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD-18), Milano (Italia). Titolo presentazione: Status of the HOLMES experiment
- **2020 – Presentazione orale:** International Conference on Neutrino and Nuclear Physics 2020 (CNNP), Cape Town (Sud Africa). Titolo presentazione: Status of the HOLMES experiment
- **2021 – Presentazione orale su invito:** 14<sup>th</sup> Workshop on Low Temperature Electronics (WOLTE-14), Matera, Italia. Titolo presentazione: Multiplexed superconducting detectors for neutrino mass measurement

## Seminari

- dicembre 2015 seminario nel corso di laurea di Fisica “Rivelatori di radiazioni” intitolato “Bolometri per la fisica astroparticellare” presso Università degli studi di Milano-Bicocca
- dicembre 2016 seminario nel corso di laurea di Fisica “Rivelatori di radiazioni” intitolato “Bolometri per la fisica astroparticellare” presso Università degli studi di Milano-Bicocca
- giugno 2020 seminario dal titolo “Microscopi e telescopi neutrini: HOLMES e PTOLEMY” presso Università degli studi di Milano-Bicocca

## Organizzazione eventi

- **2013** – Membro dello staff per il workshop “ *$\nu$ mass 2013, The Future of Neutrino Mass Measurements: Terrestrial, Astrophysical, and Cosmological Measurements in the Next Decade*”, 4 – 7 febbraio 2013, Università di Milano-Bicocca, Italia.
- **2016** – Membro dello staff per il workshop “*5<sup>th</sup> Workshop on the Physics and Application of Superconducting Microresonators*”, 22 – 24 giugno 2016, Università di Milano-Bicocca, Italia.
- **2019** – Membro del local organizing committee e dello scientific advisory committee del 18<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors, 22-26 luglio 2019, Milano, Italia.

## Pubblicazioni

Firmatario di più di 110 pubblicazioni su riviste internazionali citate un numero superiore alle 1200 volte, con *h*-index pari a 16.

## Posizioni di responsabilità

- gennaio 2017 - presente: coordinatore del working group “TES array” dell’esperimento HOLMES
- Novembre 2018 - Ottobre 2020: membro del vetting board dell’esperimento CUORE
- Novembre 2020 - presente: membro dell’outreach board dell’esperimento CUORE
- Ottobre 2019 - presente: responsabile locale della sigla INFN HOLMES\_2

## Incarichi editoriali

- A partire dall'anno 2018 sono referee per la rivista Physical Review Applied
- Nell'anno 2019 sono guest editor della rivista Journal of Low Temperature Physics per lo Special Issue collegato al 18<sup>th</sup> International Workshop on Low Temperature Detectors
- Durante l'anno 2019 sono stato referee per la Czech Science Foundation riguardo il finanziamento di un proposal EXPRO
- A partire da luglio 2020 sono parte del reviewer board della rivista Particles
- A partire da agosto 2020 sono membro del reviewer board della rivista Sensors
- A partire da agosto 2020 sono guest editor della special issue della rivista Sensors intitolata "Semiconducting and Superconducting Detectors"
- A partire da settembre 2020 sono membro del reviewer board della rivista Universe
- A partire da settembre 2020 sono membro dell'Editorial board della rivista Universe
- A partire dal febbraio 2021 sono reviewer per la rivista Applied Sciences

Milano, March 24, 2021