

# CURRICULUM SCIENTIFICO E DIDATTICO DI PIETRO CARRETTA

## *Indirizzo*

Dipartimento di Fisica  
Università degli Studi di Pavia  
Via Bassi 6, 27100 Pavia  
Italia

Tel.0382-987478  
Email [pietro.carretta@unipv.it](mailto:pietro.carretta@unipv.it)

## **Esperienza professionale**

- Dal 1 Ottobre 2016 Professore Ordinario presso l'Università di Pavia (SSD FIS/03-Fisica della Materia), settore concorsuale 02/B1 Fisica Sperimentale della Materia.
- Maggio 2001- Settembre 2016 Professore Associato presso l'Università di Pavia (SSD FIS/03-Fisica della Materia).
- Settembre 1995- Aprile 2001 Ricercatore presso l'Università di Pavia (SSD B03X- Struttura della Materia)

## **Formazione e incarichi post-laurea a tempo determinato**

- Febbraio 1994-Agosto 1995, Post-doc presso il Laboratorio di Campi Magnetici Intensi di Grenoble (Vincitore di una EC Human Capital and Mobility Fellowship on *Low energy excitations in high  $T_c$  superconductors*).
- 1990-93, Dottorato di Ricerca in Fisica presso l'Università di Pavia (VI Ciclo), Tesi *NMR, NQR e  $\mu$ SR in superconduttori ad alta  $T_c$  e in antiferromagneti loro precursori*
- Aprile 1989- Giugno 1990, Ufficiale di Complemento dell'Arma del Genio
- Dicembre 1988-Aprile 1989, Insegnamento nella Scuola Secondaria
- Dicembre 1988, Laurea in Fisica presso l'Università di Parma con voti 110/110, Tesi *NMR e NQR del Rame nei superconduttori ad alta  $T_c$*

## **Coordinamento e partecipazione a progetti di ricerca**

*(quando disponibile viene riportato il finanziamento dell'unità coordinata in migliaia di Euro (kEuro))*

- **Coordinatore di Unità** del progetto PRIN2015 *Controlling Multi-band Quantum Materials by Orbital Manipulation*. (70 kEuro)
- **Partecipante** al progetto PRIN2012 *Utilizzo controllato del disordine per lo studio dei superconduttori a base di Ferro*.
- **Coordinatore Scientifico** di un progetto di collaborazione (2009-2013) con Bracco Imaging SpA su *Iperpolarizzazione in molecole di interesse biomedico*.(65 kEuro)
- **Coordinatore del progetto** di Ricerca CARIPO2011 *Studio microscopico di processi dissipativi in nuovi materiali superconduttori*.(109.65 kEuro)
- **Coordinatore del progetto** di Ricerca CARIPO2008 *Materiali multifunzionali a bassa dimensionalità a base di ftalocianina*.(120 kEuro)

- **Componente dello Steering Committee** e proponente dell'European Science Foundation Programme on *Highly Frustrated Magnets* (2005-2010).
- **Coordinatore del progetto** di Ricerca CARIPLO2005 *Ftalocianine metalliche con proprietà magnetiche ed elettroniche di interesse applicativo.*(100 kEuro)
- **Coordinatore nazionale** del progetto PRIN2004 *Sistemi elettronici fortemente correlati con interazioni competitive.*(81.9 kEuro)
- **Coordinatore locale** del progetto PAIS-INFM 2001 MALODI *Low-dimensional Magnetic Systems.*
- **Partecipante** al progetto FIRB negoziale 2001 su *Meta-materiali magnetici innovativi strutturati su scala nanoscopici.*
- **Coordinatore del progetto** CNRAgenzia2000 su *Risonanza Magnetica Nucleare in Condizioni Estreme di Pressione e Temperatura.*(25.8 kEuro)
- **Partecipante** al progetto PRA-INFM 1999 MESMAG
- **Responsabile di diverse attività conto terzi** svolte per ditte esterne (e.g. Acciaierie Roiale SpA e Theolab)

### **Altri incarichi di responsabilità e di valutazione scientifica**

- Dal Giugno 2013 è **membro del  $\mu$ SR Committee** per la selezione di esperimenti di  $\mu$ SR da svolgersi al Paul Scherrer Institut (Villigen-CH).
- Dal 2015 al 2018 è stato **chairman del Facility Access Panel** per la selezione di esperimenti di  $\mu$ SR presso la Large Scale Facility di ISIS presso il Rutherford Appleton Laboratory (UK)
- Dal 2011 al 2014 è stato **componente del Consiglio Scientifico del CNISM** (Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze Fisiche della Materia).
- Dal 2011 al 2013 è stato **vice-presidente dell'AIMagn** (Associazione Italiana di Magnetismo).
- Nel 2008 ha svolto per l'**AERES** (Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur) la valutazione di laboratori di ricerca francesi.
- Dal 2005 al 2011 è stato **coordinatore dell'Unità di Pavia del CNISM.**
- Dal 2006 al 2016 è stato **membro del committee** del Groupment Ampere-Società Europea di Risonanza Magnetica.
- Dal 2002 al 2004 è stato **coordinatore della linea di ricerca D2** (Magnetismo e Superconduttività) dell'INFM per l'Unità di Pavia.
- Dal 2002 **coordina l'attività scientifica** del gruppo NMR del Dipartimento di Fisica.
- Dal 2000 al 2003 è stato **membro del Facility Access Panel** per l'approvazione di esperimenti di  $\mu$ SR da svolgersi presso la Large Scale Facility di ISIS presso il Rutherford Appleton Laboratory (UK).
- Ha fatto parte del **comitato scientifico (CS), editoriale (EB) e organizzatore (CO)** di diverse conferenze e scuole internazionali e nazionali, come, ad esempio:
  - EPR, NMR, NQR in Solid State Physics: Recent Trends* (Pisa, 1999) - **CS**,
  - EPR and NMR at high magnetic field* (Pisa, 2003) - **CS**,
  - ICM2003* (Roma, 2003) - **EB**,
  - 30th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics-MECO30* (Cortona, Aprile 2005) - **CS**,
  - Training School on NMR-MRI,  $\mu$ SR and Mossbauer Techniques* (Pavia, Settembre 2006) – **CS e CO**,
  - Recent Advances in Broad Band Solid State NMR* (Trogir, September 2011) - **CS**,
  - National School on Magnetism* (Pavia, Febbraio 2012) **co-Director**,

-*MAGNET (Italian Conference on Magnetism) 2009, 2011, 2013 e 2015-CS,*  
 -*SuperFOx(Conference on Superconductivity and Functional Oxides) 2012,2014, 2016,2018,2020- CS,*  
 -*FISMAT(Italian National Conference on Condensed Matter Physics) 2013, 2015, 2017- CS*  
 -*15<sup>th</sup> International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance, 2020 –*  
**Chairman of the Program Committee**

- Componente dell'**Editorial Board** di ISRN-Condensed Matter Physics (dal 02/2011) e Novel Superconducting Materials (dal 06/2012 al 2018).
- Ha **valutato progetti** presentati a istituzioni nazionali (MIUR e Fondazione Bruno Kessler) e straniere, come Council for the Central Laboratory of the Research Councils (UK), Israel Science Foundation, Israel-USA binational Science Foundation, European Science Foundation, Swiss National Science Foundation, progetti bilaterali Germania-Svizzera, Estonian Funding Agency, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Helmholtz Association.
- Ha svolto in maniera continuativa (circa 20 lavori valutati per anno) **attività di revisore** per diverse riviste internazionali fra cui Phys. Rev. Lett., Phys. Rev.B (208 lavori valutati per riviste dell'APS), Europhys. Lett., App. Mag. Res., Int. J. Mod. Phys. B, Canad. J. Phys., J. Phys. C, Physica B, J.of Alloys and Compounds, Condensed Matter, Magnetochemistry, Scientific Reports, Nature Communications.

## Riconoscimenti

- Nel 2016 è stato nominato **Outstanding Referee** dell'American Physical Society.

## Incarichi e responsabilità accademiche fino al 30/09/2019

- Dal 2018 è **Presidente del Consiglio Didattico** di Scienze e Tecnologie Fisiche dell'Università di Pavia.
- Dal 2013 al 2018 è stato **Vice-presidente del Consiglio Didattico** di Scienze e Tecnologie Fisiche dell'Università di Pavia.
- Dal 2013 al 2018 è stato **Responsabile del Corso di Laurea Magistrale** in Scienze Fisiche dell'Università di Pavia.
- Dal 2013 al 2018 è stato **co-responsabile dei piani di studio** per il Consiglio Didattico di Scienze e Tecnologie Fisiche dell'Università di Pavia.
- Dal 2007 al 2013 è stato **membro del Collegio dei Docenti** del Dottorato in Scienze Fisiche della Materia presso l'Università di Roma Tre, fino al XXVI ciclo.
- Dal 2010 (a partire dal XXVII Ciclo) è **membro del Collegio dei Docenti** del Dottorato in Fisica presso l'Università di Pavia.
- **Componente della Giunta** del Dipartimento di Fisica dell'Università di Pavia ed è stato precedentemente componente della Giunta del Dipartimento di Fisica "A.Volta" dell'Università di Pavia.
- E' stato per due mandati **componente della commissione FAR** per l'assegnazione dei Fondi di Ateneo per la Ricerca all'area Fisica dell'Università di Pavia.
- Ha fatto parte più volte della commissione d'esame per l'ammissione al Dottorato di Ricerca in Fisica e ha fatto parte della commissione d'esame finale per una quarantina di dottorandi, compresi 11 all'estero (Francia e Olanda). Ha inoltre fatto parte di commissioni per concorsi per Ricercatore, Professore Associato e Ordinario in Italia e per l'Habilitation a Diriger des Recherches in Francia.

## Attività didattica presso l'Università di Pavia

- Dall'a.a. 2013/2014 ad oggi è cotitolare del corso **Tecniche Diagnostiche II** (Laurea Magistrale in Scienze Fisiche).
- Nell'a.a. 2008/2009 ha tenuto il corso **Strongly Correlated Electron Systems** (Dottorato di Ricerca in Fisica).
- Dall'a.a. 2007/2008 ad oggi è cotitolare del corso di **Spectroscopies in Condensed Matter Physics** (Dottorato di Ricerca in Fisica).
- Dall'a.a. 2007/2008 ad oggi è titolare del corso di **Struttura della Materia** (Corso di Laurea in Fisica).
- Dall'a.a. 2004/2005 all' a.a. 2005/2006 ha tenuto il corso di **Didattica della Fisica Moderna** (SILSIS Scuola Interuniversitaria Lombarda di Specializzazione per l'Insegnamento Secondario).
- Dall'a.a. 2003/2004 all'a.a. 2006/2007 ha svolto lezioni per il corso di **Introduzione alla Fisica dei Solidi** (Corso di Laurea in Fisica).
- Dall'a.a. 2003/2004 ad oggi è titolare del corso di **Complementi di Struttura della Materia** (Laurea Specialistica/Magistrale in Scienze Fisiche).
- Dall'a.a. 2003/2004 all' a.a. 2006/2007 è stato titolare del corso di **Risonanza Magnetica Nucleare** (Laurea Specialistica in Scienze Fisiche).
- Nell'a.a. 2001/2002 ha tenuto il corso di **Complementi di Fisica degli Stati Condensati** (Dottorato di Ricerca in Fisica).
- Dall'a.a. 2000/2001 all' a.a. 2002/2003 è stato titolare del corso di **Fisica dello Stato Solido** (orientamento fenomenologico-Corso di Laurea in Fisica V.O.).
- Nell'a.a. 1999/2000 ha svolto lezioni per il corso di **Fisica dello Stato Solido** (orientamento fenomenologico-Corso di Laurea in Fisica V.O. ).
- Dall'a.a. 1995/1996 all' a.a. 2006/2007 ha svolto esercitazioni e lezioni per il corso di **Struttura della Materia** (Corso di Laurea in Fisica).

## Altre attività didattiche

- Nel 2018 ha tenuto un corso per il Dottorato in Fisica presso il Jozef Stefan Institute (Lubiana, Slovenia) su Magnetic Resonances in Superconductors.
- Nel 2016 ha tenuto lezioni alla Muon Spectroscopy School, ISIS Facility – Rutherford Appleton Lab. (UK)
- Nel 2010 ha tenuto un corso di dottorato sulle Risonanze Magnetiche all'Ameland Summer School on Advanced Spectroscopy in Complex Systems (Ameland, Olanda)
- Nel 2008 ha tenuto lezioni al Training Course in Pulsed Muon Techniques, ISIS Facility – Rutherford Appleton Lab. (UK)
- Nel 2000 ha tenuto lezioni alla Scuola Nazionale di Fisica della Materia (Villa Gualino, Torino) su Aspetti fondamentali della NMR in metalli e superconduttori.
- Nel 1999 ha tenuto un corso per il Dottorato in Fisica presso la SISSA (Trieste) su Risonanze Magnetiche nella Fisica della Materia.
- Nel 1996 ha tenuto lezioni alla Scuola Nazionale di Fisica della Materia (Villa Gualino, Torino) su NMR in sistemi elettronici fortemente correlati.

Ha inoltre tenuto diversi seminari presso licei e altri luoghi pubblici al fine di divulgare la Fisica della Materia, oltre a contribuire all'organizzazione di mostre e eventi aperti al pubblico (e.g. Mostra *Semiconduttori e Superconduttori: dalla Fisica della Materia alla Tecnologia* (2006), Notte dei Ricercatori).

## Attività Scientifica

L'attività di ricerca svolta ha riguardato lo studio sperimentale delle proprietà fisiche della materia utilizzando prevalentemente tecniche di risonanza magnetica, come NMR e  $\mu$ SR, combinate con tecniche di natura complementare come, ad esempio, magnetometria SQUID e calorimetria adiabatica. Nell'arco degli anni ha studiato molteplici sistemi e problemi fisici ottenendo diversi risultati di rilievo, descritti in oltre 170 manoscritti pubblicati su riviste internazionali con referee o come capitoli di libri. Fra questi vi sono **13 Physical Review Letters, 63 Physical Review B (13 Rapid Communications), 1 Report for Progress in Physics, 1 Journal of the American Chemical Society e 1 Applied Physics Letters**. L'apprezzamento della comunità scientifica per l'attività svolta è evidenziato da oltre trenta relazioni su invito, compresi keynote talks, e da **3017 citazioni, h-index 27** (fonte Web of Science)

**4033 citazioni, h-index 34** (fonte Google Scholar - <https://scholar.google.it/citations?user=RfDLuBQAAAAJ&hl=it>)

dei lavori pubblicati. Supera tutte le soglie per i commissari di concorsi di prima fascia nel SC 02/B1- Fisica sperimentale della materia.

È stato coautore di un **brevetto** internazionale, coeditore di un libro sul magnetismo molecolare e coautore di tre edizioni di un **libro di testo**.

Qui di seguito vengono riassunti i principali risultati ottenuti da Pietro Carretta (PC) nel corso della sua carriera e fra parentesi alcuni fra i lavori più significativi inerenti le varie attività di ricerca.

PC ha condotto studi pionieristici sul reticolo di flussoni in **superconduttori ad alta temperatura critica** ( $T_c$ ) (P. Carretta et al., Phys. Rev. Lett. 68, 1236 (1992), A.Rigamonti et al., Rep. Prog. Phys. 61, 1367 (1998)) che hanno permesso di derivare le frequenze caratteristiche dei moti delle linee di flusso al variare di diversi parametri, quali la temperatura, il campo magnetico e l'intensità della corrente elettrica applicata, e di evidenziare la diversa mobilità delle componenti longitudinali e trasversali del campo magnetico all'interno del reticolo di Abrikosov.

Nei composti precursori dei superconduttori ad alta  $T_c$  e nei superconduttori sottodrogati (a bassa concentrazione di cariche itineranti) è stata evidenziata una separazione di fase nanoscopica in regioni ad elevata concentrazione di lacune e regioni caratterizzate da forti correlazioni antiferromagnetiche e basso contenuto di lacune (F.Borsa et al. Phys.Rev.B 52, 7334 (1995); M.H.Julien et al. Phys.Rev.Lett. 83, 604 (1999)). Questi risultati, basati prevalentemente su misure NQR, NMR e  $\mu$ SR, hanno preceduto l'osservazione diretta di tale separazione di fase mediante tecniche di diffusione di neutroni; osservazione che ha dato luogo negli ultimi 20 anni a un intenso dibattito sulla rilevanza di tale fenomeno per la superconduttività ad alta  $T_c$ . PC ha condotto inoltre studi importanti sulle eccitazioni nella fase normale di tali superconduttori (M.H.Julien et al. Phys.Rev.Lett. 76, 4238 (1996)) e sulle fluttuazioni del parametro d'ordine in prossimità della transizione superconduttiva (P. Carretta et al., Phys.Rev.B 54, R9682 (1996); P. Carretta et al., Phys.Rev.B 61, 12420 (2000)).

Lo studio dei **conduttori organici monodimensionali** ha consentito di descrivere quantitativamente le modifiche nelle funzioni di correlazione di spin e di carica in prossimità di fenomeni di localizzazione indotti dal campo magnetico e di studiare le fasi di onde di densità di spin che si instaurano in presenza di campi magnetici elevati (K. Behnia et al. Phys.Rev.Lett. 74, 5272 (1995)). Sono state sondate le correlazioni elettroniche al variare del riempimento delle bande in conduttori organici con proprietà analoghe alle fulleriti (M. Filibian et al., Phys.Rev.Lett.100, 117601 (2008)).

Ha inoltre ottenuto risultati di rilievo nello studio di **sistemi magnetici a bassa dimensionalità**. In particolare si è occupato delle modifiche nelle proprietà magnetiche statiche e dinamiche di questi sistemi in presenza di difetti di spin, di cariche itineranti e al variare della dimensionalità del

reticolo magnetico (P. Carretta et al. Phys. Rev. B 55, 3734 (1997); P. Carretta et al. Phys. Rev. B 48, 3433 (1993), P. Carretta et al. Phys. Rev. Lett. 84, 366 (2000)).

Il gruppo guidato da PC ha realizzato i primi studi sperimentali su **antiferromagneti frustrati** a reticolo quadrato, individuando i primi sistemi prototipo del cosiddetto modello J1-J2 quantistico. Questi studi hanno permesso di confermare lo stato fondamentale previsto teoricamente anni prima, di evidenziare eccitazioni a bassa frequenza associate alla degenerazione dello stato fondamentale e di osservare diversi effetti legati all'accoppiamento spin-reticolo (R. Melzi et al. Phys.Rev.Lett. 89, 1318 (2000); P. Carretta et al., Phys. Rev. B 66, 094420 (2002); P. Carretta et al., Phys. Rev. Lett. 88, 047601 (2002)). Studi più recenti hanno mostrato che l'applicazione di pressioni elevate consente di variare il grado di frustrazione di questi sistemi e di studiarne accuratamente il diagramma di fase (E.Pavarini et al., Phys. Rev.B 77, 014425 (2008)).

Sono state condotte numerose ricerche su **nanomagneti molecolari** al fine di verificarne lo stato fondamentale, i parametri caratteristici, i tempi di decoerenza e di comprendere l'origine microscopica delle dinamiche di spin. Attraverso misure di NMR e  $\mu$ SR è stata messa in luce la rilevanza dell'accoppiamento spin-reticolo nel determinare la dinamica di spin e la decoerenza dello stato di spin di questi nanomagneti (A.Lascialfari et al. Phys. Rev. Lett. 81, 3773 (1998), P. Santini et al. Phys. Rev. Lett. 94, 077203 (2005)). È stato evidenziato che magneti molecolari a base di terra rara, caratterizzati da un'anisotropia magnetica assai elevata, hanno tempi di correlazione ordini di grandezza superiori a quelli dei magneti molecolari basati su metalli di transizione (vedi F. Branzoli et al., J. Am. Chem. Soc. 131, 4387 (2009); F. Branzoli et al., Phys.Rev.B 82, 134401 (2010)).

PC e i suoi collaboratori hanno inoltre studiato **sistemi intermetallici a fermioni pesanti** al fine di comprendere le modifiche nella suscettività di spin in prossimità di un punto critico quantistico. È stato osservato che le formulazioni empiriche riportate in letteratura descrivono abbastanza bene il comportamento in prossimità del punto critico quantistico per campi magnetici evanescenti, ma presentano tuttavia delle limitazioni quando il campo magnetico diventa elevato. E' stata quindi messa a punto una nuova formulazione in grado di descrivere il comportamento della suscettività di spin su un ampio intervallo di campi magnetici (P. Carretta et al., Phys. Rev. B 68, 220404 (2003); P. Carretta et al., Phys. Rev. B 79, 020401 (2009)).

Gli studi condotti a partire dal 2009 in **superconduttori a base di Ferro** hanno permesso di evidenziare la coesistenza nanoscopica di magnetismo e superconduttività, la presenza di un punto critico quantistico indotto da quantità ridotte di impurezze magnetiche e la comparsa di eccitazioni a bassa frequenza inusuali riconducibili a eccitazioni nematiche di spin. È stato inoltre ampiamente studiato l'andamento della concentrazione delle coppie di Cooper al variare della temperatura di transizione e del riempimento delle bande (S.Sanna et al., Phys.Rev.Lett. 107, 227003 (2011); L.Bossoni et al., Phys. Rev. B 88, 100503 (2013); F.Hammerath et al., Physical Review B 89, 134503 (2014) e [http://videlectures.net/pietro\\_carretta/](http://videlectures.net/pietro_carretta/)).

Più di recente, grazie all'attivazione di una collaborazione con Bracco Imaging SpA, ha iniziato a occuparsi dello studio dei processi di **iperpolarizzazione degli spin nucleari** in molecole di interesse biomedico. E' stato dimostrato che il processo di iperpolarizzazione in alcune di queste molecole è ben descritto dall'approccio di Thermal Mixing con un elevato contatto termico fra spin nucleari e spin elettronici in interazione dipolare ed è stato individuato un approccio trasferibile a livello industriale per la sintesi dei materiali da iperpolarizzare che ha portato al deposito di un brevetto internazionale (E.Elisei et al., Chem.Comm. 51, 2080 (2015); M.Filibian et al., Phys. Chem. Chem. Phys.16, 27025 (2014)).

Oltre ad aver utilizzato tecniche NMR e  $\mu$ SR standard, PC ha **messo a punto esperimenti originali** ad-hoc al fine di evidenziare le proprietà di interesse dei sistemi fisici studiati. Ha condotto esperimenti di NMR in superconduttori ad alta  $T_c$  dove il moto delle linee di flusso era guidato da impulsi di corrente elettrica, ha messo a punto una tecnica di field cycling con estrazione del campione per misurare i tempi di rilassamento nucleari spin-reticolo in campi magnetici evanescenti. Ha realizzato sonde NMR per condurre esperimenti a temperature sino a 350 mK con

criostati a  $^3\text{He}$ . Ha ideato set-up sperimentali per svolgere esperimenti di  $\mu\text{SR}$  in campi magnetici pulsati e ha condotto esperimenti di  $\mu\text{SR}$  nei quali i muoni venivano disaccoppiati dai nuclei del campione, grazie all'irraggiamento con campi a radiofrequenza di questi ultimi. Sono state quindi messe a punto celle per condurre misure di magnetometria SQUID a pressioni sino a 12 kbar. Ha inoltre progettato e implementato una sonda per iperpolarizzare gli spin nucleari.

Queste ricerche sono state condotte grazie al coordinamento di diversi laureandi (oltre 25), dottorandi (oltre 10), post-doc o visiting professors. Ad esempio, fra i dottorandi si ricordano R. Melzi (NMR/MRI Application Scientist di Bruker Biospin Italia); T. Roskilde (Professore Associato all'ENS di Lione); N. Papinutto (Research Associate, University of California at San Francisco); M. Filibian (Tecnico presso CGS, Università di Pavia); G. Prando (RTDa, Università di Pavia); F. Branzoli (post-doc CENIR, Paris); L. Bossoni (post-doc al LUMC, Leiden); M. Moroni (beSharp, Pavia). Fra i post-docs M.H. Julien (Directeur de Recherche CNRS, Grenoble) e F. Hammerath (post-doc Leibniz Institute-IFW, Dresda), e fra i visiting professors M.J. Graf (Associate Chairperson and Professor of Physics at the Boston College).