

Curriculum in Fisica della Materia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

Nanoscienze: nanomagnetismo, spintronica, nanomeccanica e Fisica delle superfici

Marco Madami

nanomagnetismo, spintronica

Giovanni Carlotti, Dipartimento di Fisica e Geologia giovanni.carlotti@unipg.it

Marco Madami, Dipartimento di Fisica e Geologia marco.madami@unipg.it

Gianluca Gubbiotti, CNR-IOM gubbiotti@iom.cnr.it

Silvia Tacchi, CNR-IOM tacchi@iom.cnr.it



GHOST

group of high resolution optical spectroscopy and related techniques

website: <http://ghost.fisica.unipg.it/>

nanomeccanica

Igor Neri, Dipartimento di Fisica e Geologia igor.neri@unipg.it

Francesco Cottone, Dipartimento di Fisica e Geologia francesco.cottone@unipg.it

Maurizio Mattarelli, Dipartimento di Fisica e Geologia maurizio.mattarelli@unipg.it

NiPS Laboratory
Noise in Physical Systems

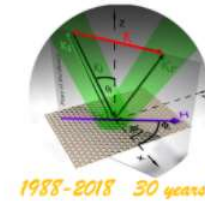


website: <https://www.nipslab.org/>

Fisica delle superfici

Alberto Verdini, CNR-IOM verdini@iom.cnr.it

Group of High-resolution Optical Spectroscopy and related Techniques



People

Soft Matter and Glasses

NanoMagnetism and Spin Waves

Elastic properties

Techniques

Publications



The research group at GHOST-laboratory is a mixed Unit that involves personnel from the Department of Physics and Geology at University of Perugia (Italy) and from the Istituto Officina dei Materiali (IOM) of the National Research Council.

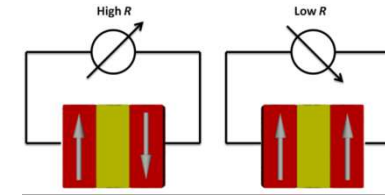
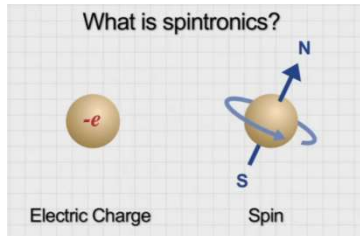
The research activity started in 1988 with the setup of the Brillouin light scattering laboratory, equipped with a tandem-multipass Fabry-Perot interferometer. After a few years entirely devoted to the study of surface phonons in thin films, the research activity has been extended to the study of the dynamics of complex systems (liquids, glasses, polymers) and to the analysis of the magnetic properties of low-dymensional structures and magnonic crystals.

Presently, the main research lines deal with:

- Soft matter, Glasses and Biosamples;
- Nanomagnetism, Spintronics and Spin Waves;
- Elastic properties of Thin Films and Acoustic Resonators

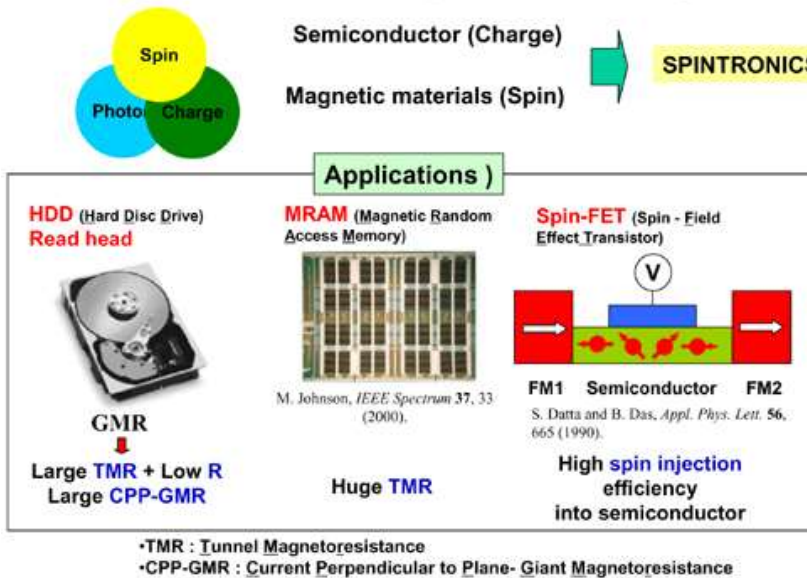
News

Spintronica: sfruttare lo **spin** degli elettroni oltre che la loro **carica elettrica**

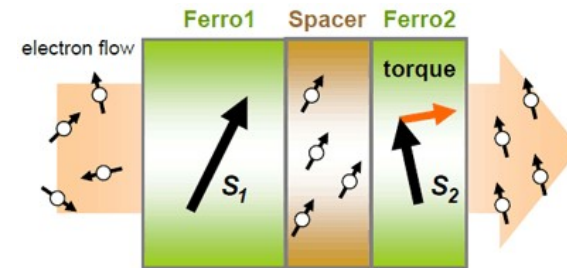


1988: Giant magnetoresistance (GMR) – Nobel Prize 2007

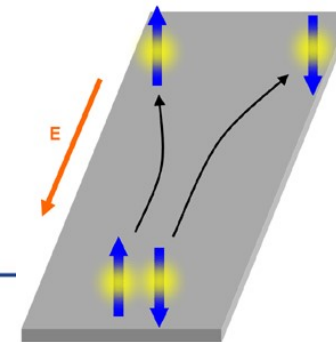
Spintronics (Spin + Charge)



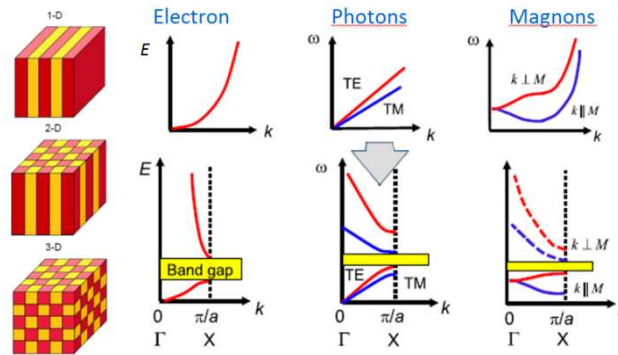
1996-1999: Spin-Transfer Torque (STT)



1971-2004: Spin-Hall effect (SHE)

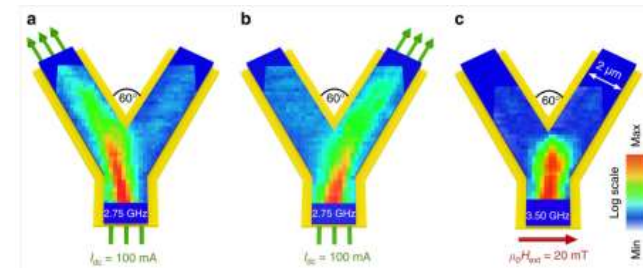
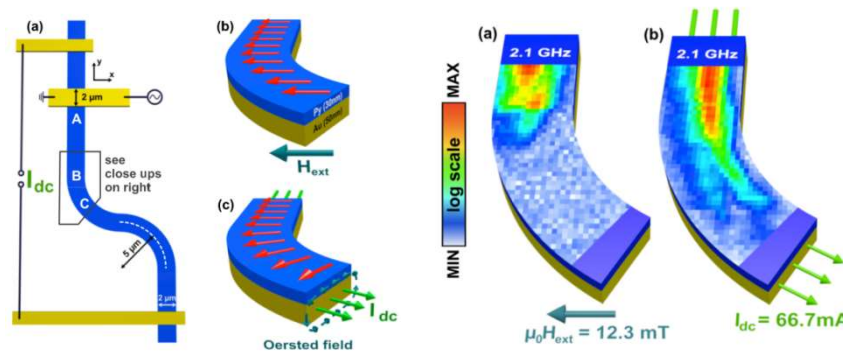
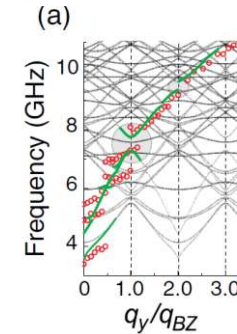
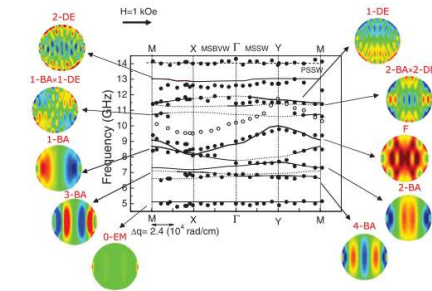
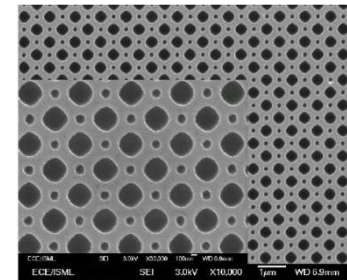
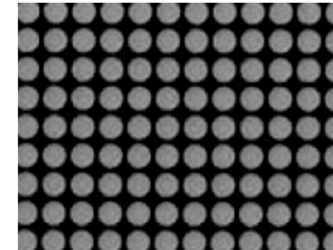


Magnonica: studio della propagazione di onde di spin (**cristalli magnonici**)



Cristallo magnonico: **modulazione periodica** delle proprietà magnetiche

SPIN WAVE LOGIC (SWL): Codificare, trasportare ed elaborare l'informazione con onde di spin ?



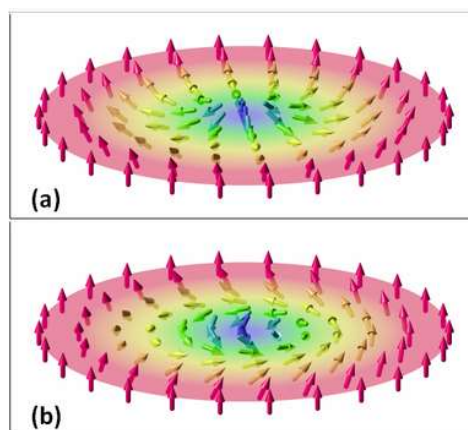


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA

Metrology for topological spin structures

Short Name: TOPS, Project Number: 17FUN08



Dzyaloshinskii–Moriya interaction (DMI)
Interazione di scambio anti-simmetrica

PARTICIPATING EURAMET NMIS AND DIS

INRIM (Italy)

NPL (United Kingdom)

PTB (Germany)

OTHER PARTICIPANTS

Singulus Technologies AG (Germany)

Technische Universität München
(Germany)

Università degli Studi di Perugia (Italy)

University of Leeds (United Kingdom)

INFORMATION

PROGRAMME
EMPIR

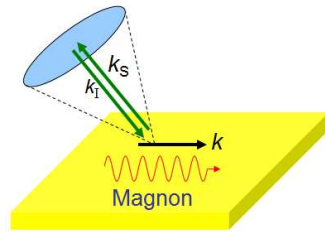
FIELD
Fundamental

STATUS
in progress

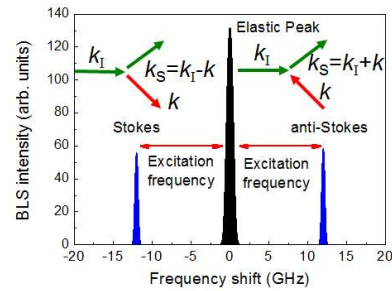
CALL
2017

DURATION
2018-2021

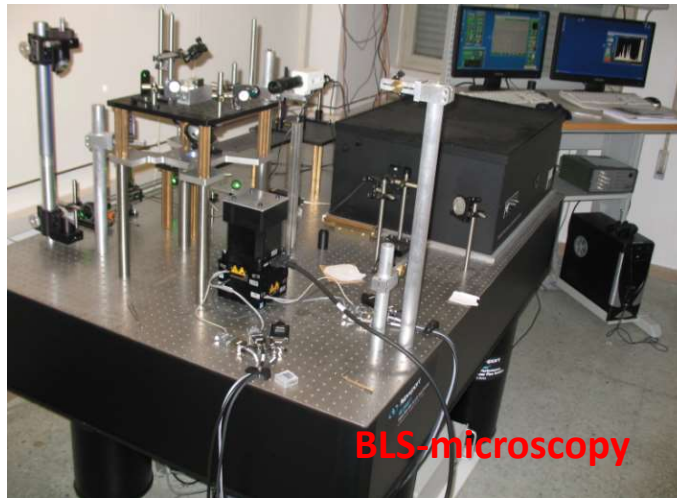
RESEARCHER GRANTS
1



(Inelastic scattering of photons by spin waves "magnons")

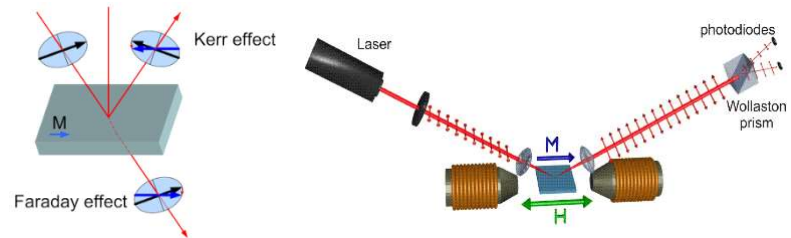


Brillouin Light Scattering (BLS)

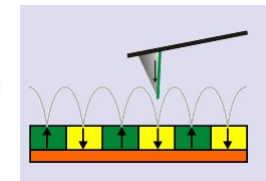
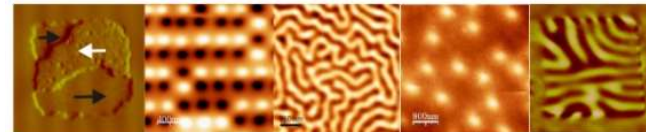


BLS-microscopy

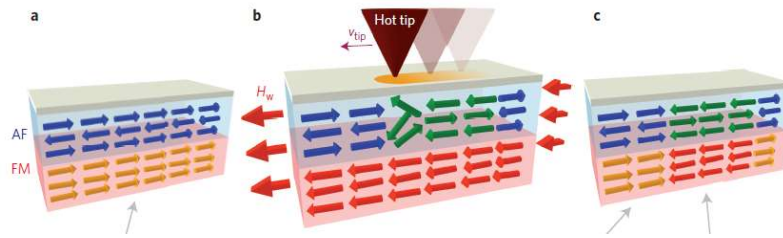
Magneto-Optic Kerr Effect (MOKE)



Magnetic Force Microscopy (MFM)

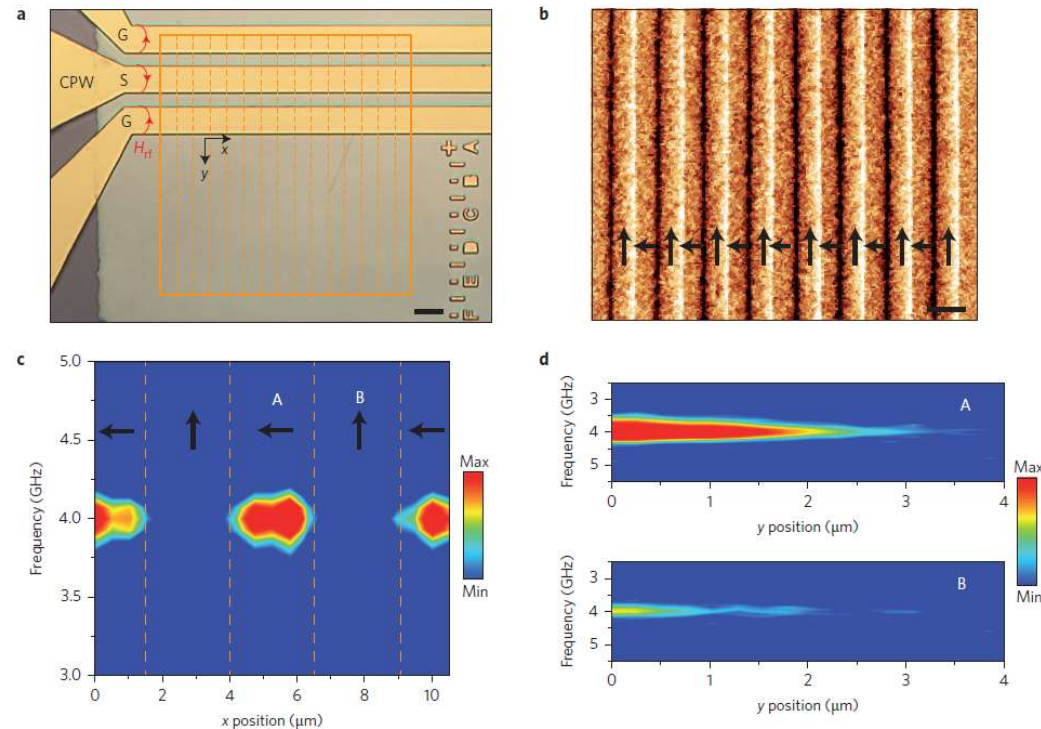


Micromagnetic simulations:
OOMMF
Mumax3 (GPUs, Nvidia CUDA®)



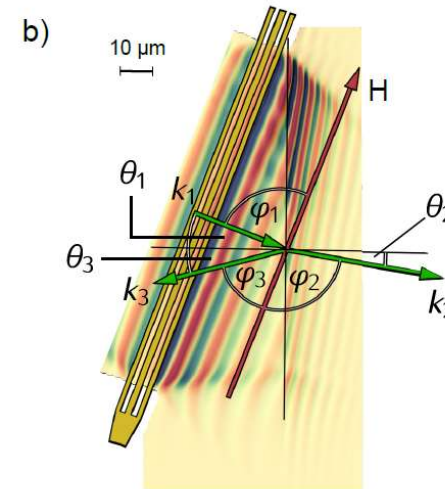
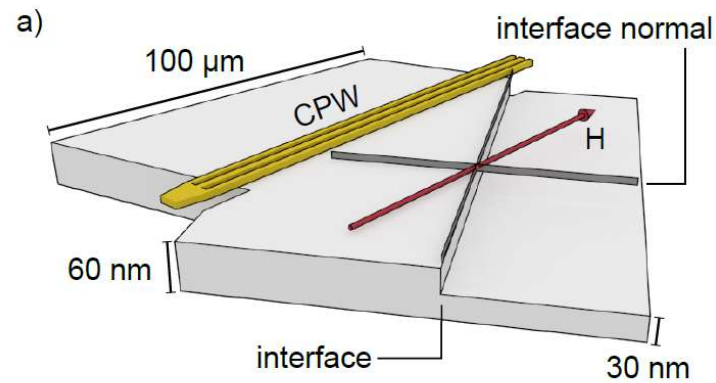
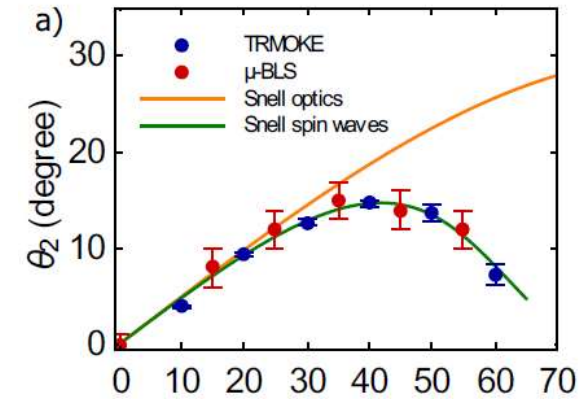
Nanopatterning reconfigurable magnetic landscapes via thermally assisted scanning probe lithography

E. Albisetti^{1,2*}, D. Pettì¹, M. Pancaldi³, M. Madami⁴, S. Tacchi⁵, J. Curtis², W. P. King⁶, A. Papp⁷, G. Csaba⁷, W. Porod⁷, P. Vavassori^{3,8}, E. Riedo^{2,9*} and R. Bertacco^{1,10*}



Snell's Law for Spin Waves

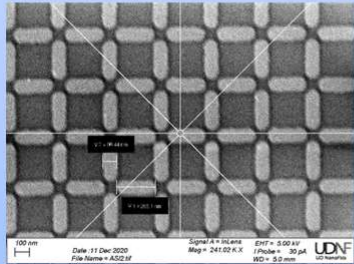
J. Stigloher,¹ M. Decker,¹ H. S. Körner,¹ K. Tanabe,² T. Moriyama,³ T. Taniguchi,³ H. Hata,³ M. Madami,⁴ G. Gubbiotti,⁵ K. Kobayashi,⁶ T. Ono,³ and C. H. Back¹
¹Department of Physics, Regensburg University, 93053 Regensburg, Germany
²Department of Physics, Nagoya University, Nagoya, Aichi 464-8602, Japan
³Institute for Chemical Research, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011, Japan
⁴Dipartimento di Fisica e Geologia, Università di Perugia, I-06123 Perugia, Italy
⁵Istituto Officina dei Materiali del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IOM-CNR), Sede di Perugia, c/o Dipartimento di Fisica e Geologia, Via A. Pascoli, I-06123 Perugia, Italy
⁶Department of Physics, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan
(Received 17 February 2016; revised manuscript received 20 April 2016; published 12 July 2016)

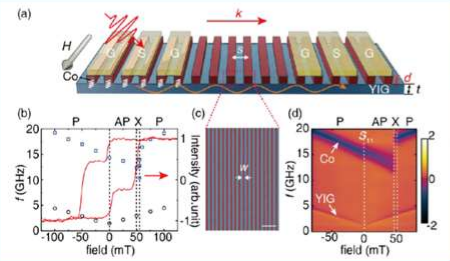


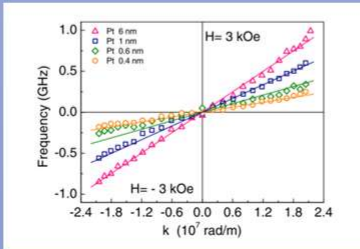
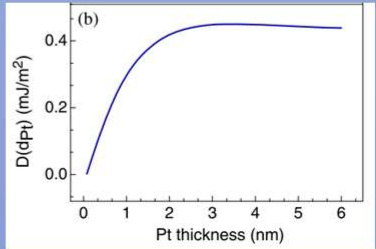
Programma del Corso di NANOMAGNETISMO E SPINTRONICA

Docente: Dott. Gianluca Gubbiotti (CNR-IOM)

- 1) Introduzione al corso. Definizione di scale di lunghezza e di tempo rilevanti. Panoramica sulle applicazioni e sugli approcci teorici. Sistemi di unità di misura. **Richiami sul magnetismo atomico e sull'interazione spin-orbita.** Magnetismo orbitale e di spin. Accoppiamento L-S e J-J. Regole di Hund.
- 2) Teoria classica del Diamagnetismo e Paramagnetismo di atomi isolati. Correzione quantistica. Paramagnetismo di Pauli e diamagnetismo di Landau per gli elettroni liberi. Comportamento ferromagnetico: teoria classica di Weiss, campo molecolare e domini magnetici.
- 3) **Interazione di scambio e sua origine quantistica.** L'atomo di elio. Ferromagnetismo. Hamiltoniana di Heisenberg. Dipendenza della magnetizzazione dalla temperatura. Interazione di scambio tra elettroni liberi. Modello a bande del Ferromagnetismo. Criterio di Stoner. **Onde di spin in regime di scambio.**
- 4) Anisotropia magnetica, Domini magnetici e micromagnetismo, Onde di Spin- Approccio Classico, Suscettività e Risonanza Ferromagnetica, Oscillazioni in ferromagneti anisotropi, Approssimazione Magnetostatica, **Onde di spin in film sottili e multistrati. Regime scambio-dipolare.** Tecniche di caratterizzazione statica e dinamica, **Onde di spin in sistemi confinati, Cristalli Magnonici, Manipolazione di Onde di Spin, Magnonica,** Eccitazione di onde di spin mediante microstrisce, antenne coplanari, effetto spin-torque o effetto spin-Hall.
- 5) Teoria quantistica della conduzione elettrica, moto degli elettroni e fenomeni di trasporto. Equazione di Boltzmann e tempo di rilassamento Equazione di diffusione. Scattering nelle bande. Correnti spin-polarizzate e conduzione elettrica. Modello delle due correnti. Scattering dipendente dallo spin. Accumulazione di spin. **Accoppiamento di scambio tra strati e magnetoresistenza gigante. Magnetoresistenza ad effetto tunnel e sue applicazioni. Valvole di spin e memorie magnetiche. Effetto spin-Hall. Dispositivi spintronici.**

Argomento	Studio della propagazione di onde di spin in cristalli magnonici bidimensionali
Tipo	Sperimentale (BLS) – Simulazioni (micromagnetismo)
Descrizione	Misura della <u>struttura a bande</u> in cristalli magnonici 2D. Comprensione dei fattori (geometria, disposizione) che determinano la formazione delle band gap in matrici 2D di dot ellittici. (Cristalli magnonici)
Collaborazioni	- University of Delaware, Newark (USA) (Nano fabrication) - NorthUmbria University, NewCastle (UK) (Calculation and modeling)
Referente	Dr. Gianluca Gubbiotti (CNR-IOM) (gubbiotti@iom.cnr.it)
Sistemi studiati Matrici di 2D di dot NiFe	

Argomento	Eccitazione e propagazione di onde di spin in sistemi magnetici bi-dimensionali
Tipo	Sperimentale (BLS)
Descrizione	Misura della efficienza di eccitazione di onde di spin da antenne coplanari o micro-strip e caratterizzazione della loro propagazione tramite misure di micro-spettroscopia BLS risolte spazialmente
Collaborazioni	- Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics, (Russia) - Fert Beijing Institute, Beijing, (China)
Referente	Prof. Marco Madami (marco.madami@unipg.it)
Sistemi studiati	

Argomento	Studio dell'interazione Dzyaloshinskii-Moriya in eterostrutture del tipo materiale ferromagnetico/metallo pesante
Tipo	Sperimentale (BLS)
Descrizione-SCOPO	Misura dell'interazione Dzyaloshinskii-Moriya (DMI) in film ferromagnetici sottili in contatto con film di metalli pesanti. Studio dell'effetto della DMI sulla propagazione delle onde di spin in cristalli magnonici attraverso simulazioni micromagnetiche.
Collaborazioni	Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Politecnico di Milano
Referente	Dott. Silvia Tacchi (tacchi@iom.cnr.it)
Sistemi studiati DMI in eterostrutture del tipo Pt/CoFeB DMI in eterostrutture del tipo Pt/CoFeB/BTO	 

Argomento	Proprietà dinamiche di nanostrutture magnetiche topologiche (skyrmioni)
Tipo	Simulazioni (micromagnetismo GPU based) – Sperimentale (Brillouin Light Scattering)
Descrizione	Studiare la dinamica di nanostrutture topologiche indotte in film magnetici ultrasottili dall'interazione chirale di Dzyaloshinskii–Moriya, causata dall'interazione spin-orbita con il substrato.
Collaborazioni	Progetto europeo 08-FUN-TOPS, in collaborazione con NPL-London, PTB-Braunschweig, INRIM-Torino, Univ. Leeds, Tech.Univ. Munich, finanziato dall'ente metrologico della Comunità Europea, EMPIR.
Referente	Prof. Giovanni Carlotti (giovanni.carlotti@unipg.it)
Sistemi studiati Film e multistrati magnetici ultrasottili	 Metrology for topological spin structures