

Curriculum in Fisica della Materia

Nanomagnetismo e spintronica



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

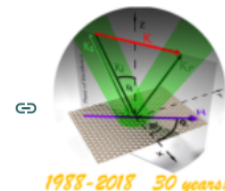
Perugia – 05/04/2024

Raffaele Silvani

Nanomagnetismo e spintronica



Group of High-resolution Optical Spectroscopy and related Techniques



website: <http://ghost.fisica.unipg.it/>
NanoMagnetism and Spin Waves



Giovanni Carlotti
Dipartimento di
Fisica e Geologia

giovanni.carlotti@unipg.it



Gianluca Gubbiotti
CNR-IOM

gubbiotti@iom.cnr.it



Marco Madami
Dipartimento di
Fisica e Geologia

marco.madami@unipg.it



Silvia Tacchi
CNR-IOM

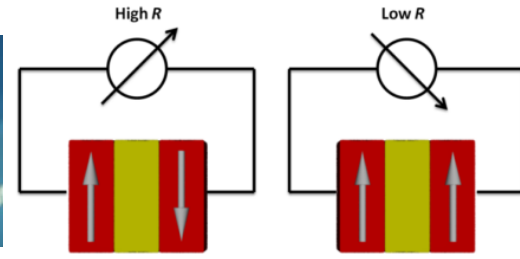
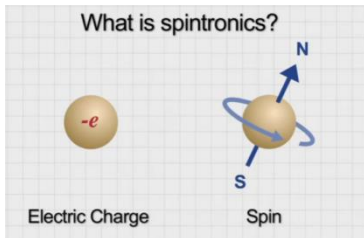
tacchi@iom.cnr.it



Raffaele Silvani
Dipartimento di
Fisica e Geologia

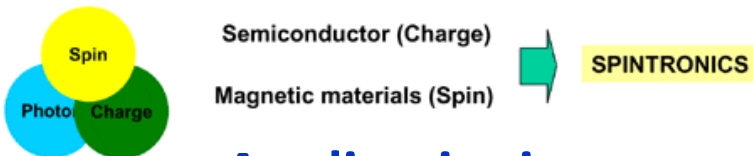
raffaele.silvani@unipg.it

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

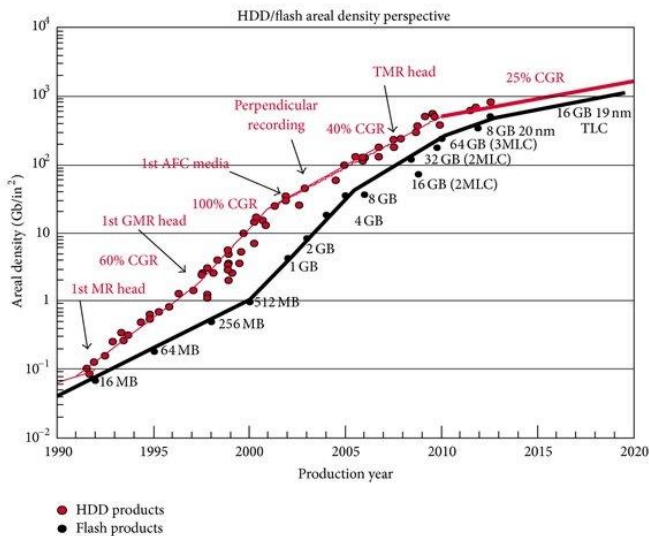


1988: Giant magnetoresistance (GMR) – Nobel Prize 2007

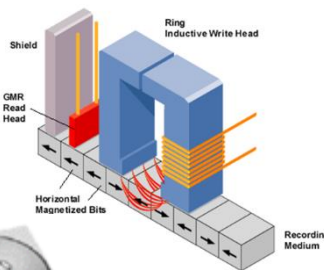
Spintronics (Spin + Charge)



Applicazioni

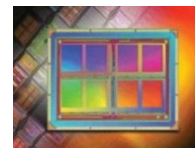
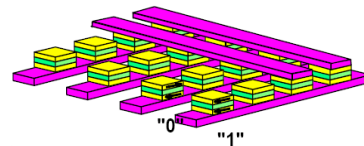


Disk read head



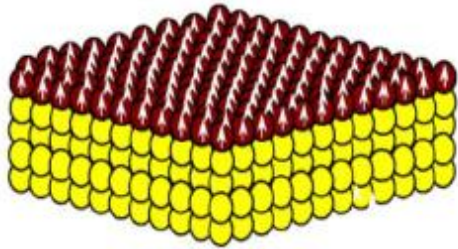
MRAM

(Magnetic Random Access Memory)

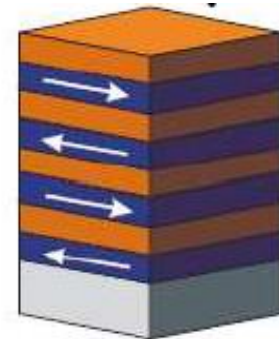


Nanomagnetismo

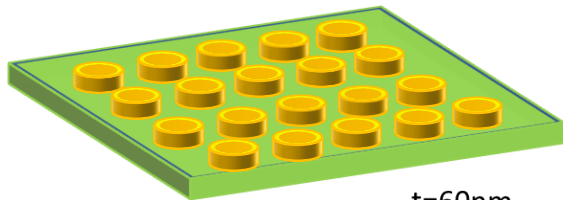
Magnetic films



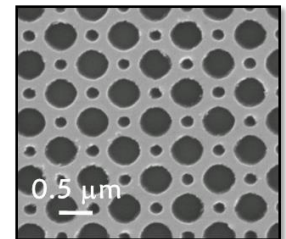
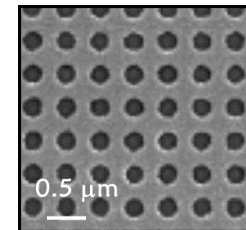
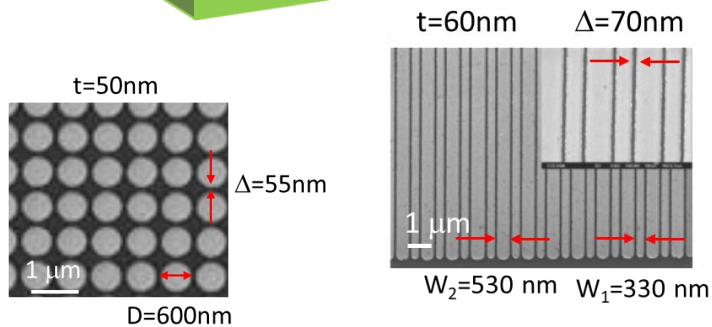
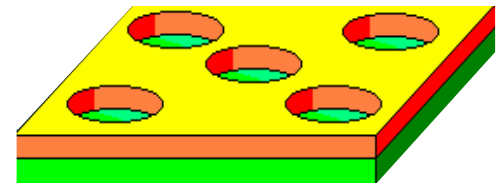
Multilayers



Dot arrays

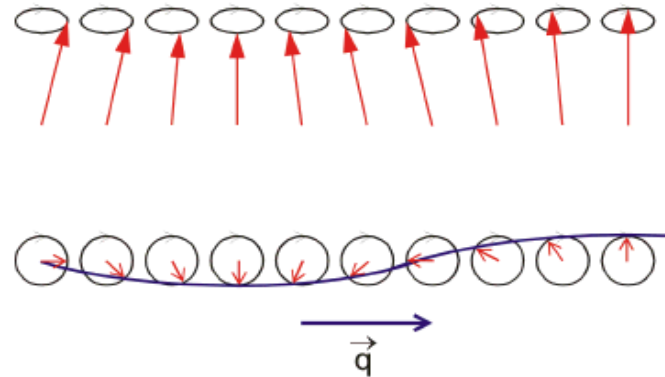


Antidot arrays



Magnonica: studio della propagazione di onde di spin

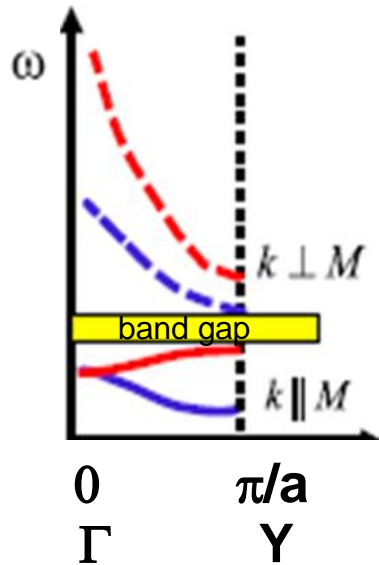
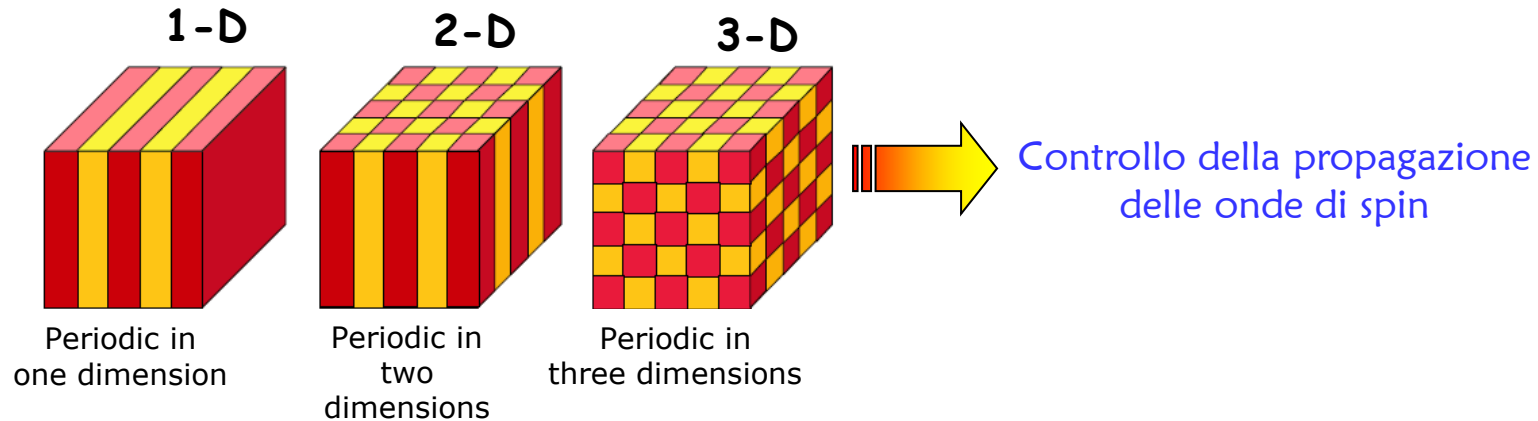
La magnonica è un campo di ricerca nuovo nel nanomagnetismo che ha come obiettivo quello di utilizzare le onde di spin (magnoni) a: (i) trasmettere, (ii) archiviare e (iii) elaborare le informazioni.



Vantaggi delle onde di Spin:

- La lunghezza d'onda delle onde di spin sono più corte di quelle delle onde elettromagnetiche e questa proprietà offre buone opportunità per la miniaturizzazione dei dispositivi alle frequenze del GHz e del THz.
- Non si ha l'effetto Joule poiché non c'è spostamento di cariche.
- E' possibile realizzare dei dispositivi riprogrammabili

Cristalli magnonici: sistemi con una modulazione periodica delle proprietà magnetiche

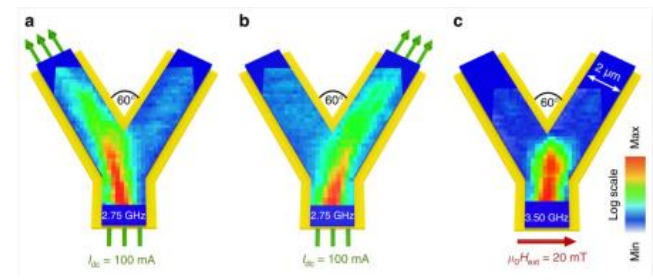
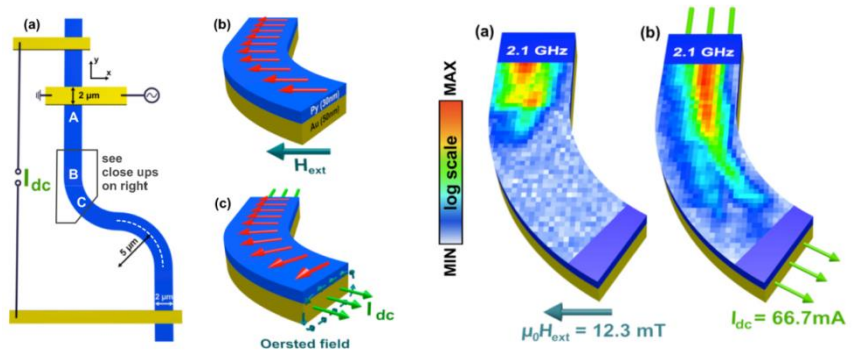
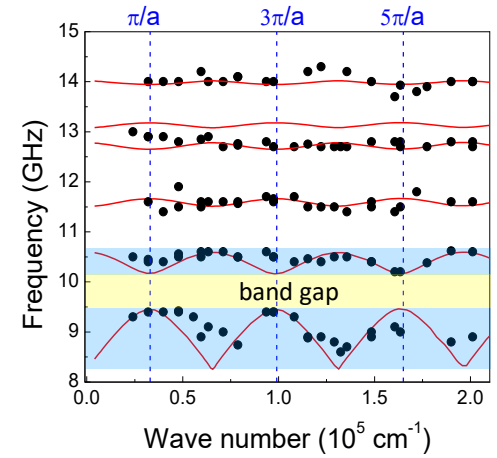
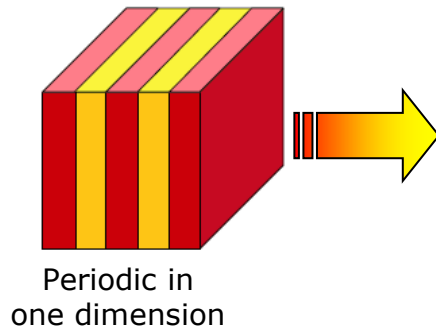


La dispersione delle onde di spin è caratterizzata da **bande magnoniche**, cioè regioni dello spettro in cui le onde di spin si possono propagare, separate **band gap magnoniche**, regioni dello spettro in cui la propagazione delle onde di spin è proibita.

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

Matrici di stripe

1-D



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

Metrology for topological spin structures

Short Name: TOPS, Project Number: 17FUN08



PARTICIPATING EURAMET NMIS AND DIS

INRIM (Italy)

NPL (United Kingdom)

PTB (Germany)

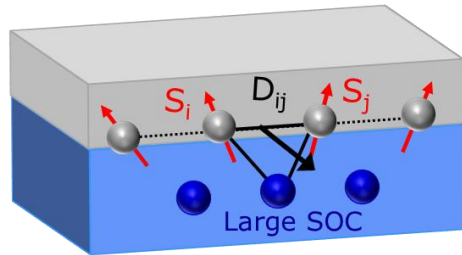
OTHER PARTICIPANTS

Singulus Technologies AG (Germany)

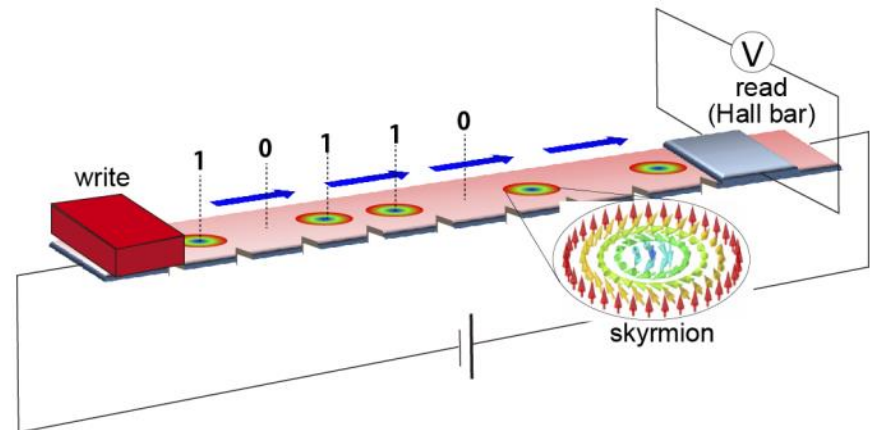
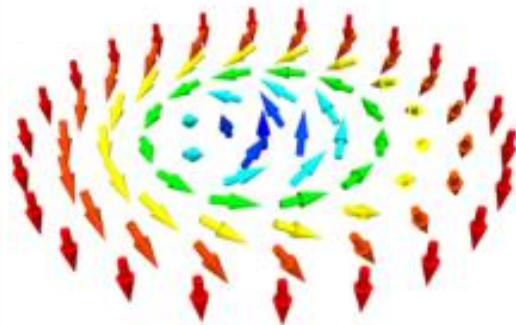
Technische Universität München (Germany)

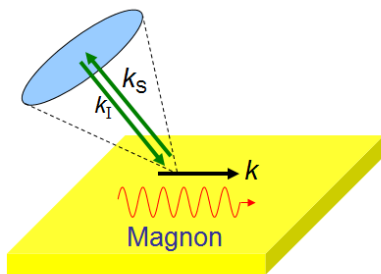
Università degli Studi di Perugia (Italy)

University of Leeds (United Kingdom)

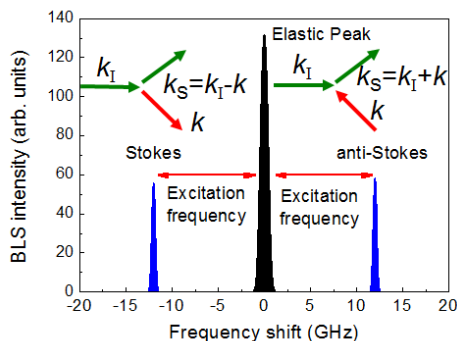


Magnetic skyrmions





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



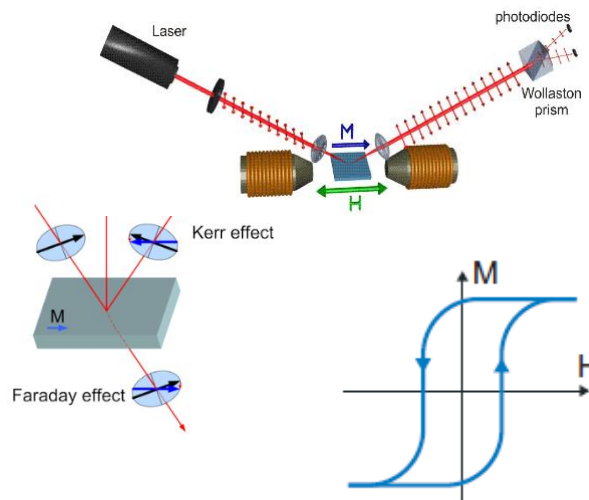
Brillouin Light Scattering (BLS)



BLS-microscopy

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

Magneto-Optic Kerr Effect (MOKE)



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.**

Progetti di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) e collaborazioni



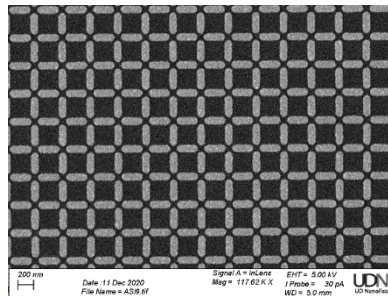
Three-dimensional **P**rocessing **te**chnique of **m**agnetic **cr**ystals for magnonics and **nanomagnetism**



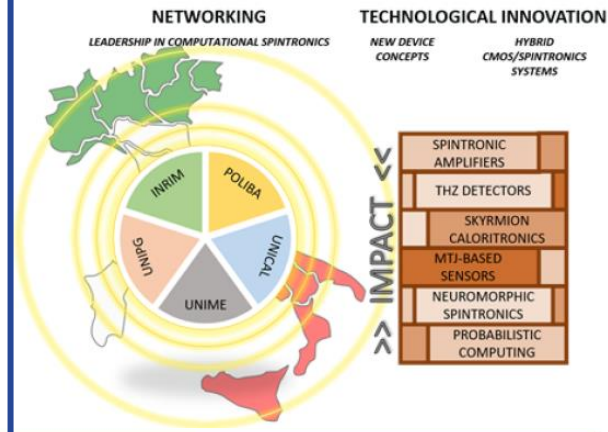
Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM), Torino
Politecnico di Bari (POLIBA)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA
- EX LABORE FRUCTUS -

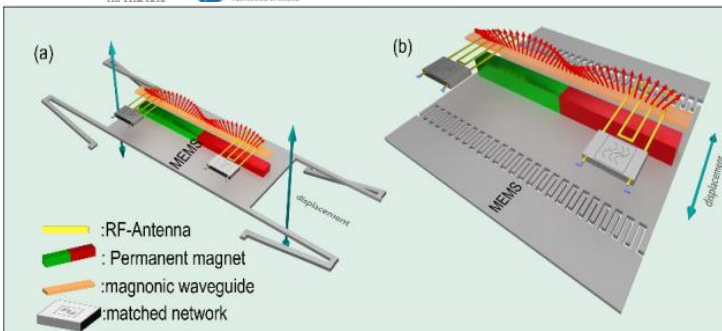


The Italian factory of micromagnetic modeling and spintronics



Progetti Europei e Internazionale

M&MEMS. Magnonics meets micro-electro-mechanical systems: a new paradigm for communication technology and radio-frequency signal processing



Progetto della Royal Society (UK)- International Exchanges 2020 Cost Share (Italy) dal titolo: "Reprogrammable Layered Magnetic Nanostructure"



National Natural Science Foundation of China

Accordo di cooperazione scientifica CNR
Interazione spin-orbita basata su eterostrutture isolante topologico/ferromagnete