

Università di Pavia, Dipartimento di Fisica
Laurea Magistrale in Scienze Fisiche:
Curriculum di Fisica della Materia

Lucio Andreani

Giornata di orientamento, Pavia, 21 Maggio 2024

<https://fisica.dip.unipv.it/it>
<https://scienze fisiche.cdl.unipv.it/it>

Fisica della Materia

- Fisica dei solidi (semiconduttori, isolanti, metalli, magnetismo e superconduttività, transizioni di fase...)
- Ottica e fotonica, spettroscopie
- Nanostrutture, nanotecnologie, nanomateriali "nanoscale quantum effects"
- Applicazioni in scienza dei materiali, sensoristica, fotovoltaico
- *Tecnologie quantistiche e biomedicali -> vedi Curricula*
- Atomi e molecole, liquidi, "soft matter"; ...

Gli enti nazionali:

CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), dal 2004 comprendente l'ex INFN (Istituto Nazionale di Fisica della Materia)

CNISM (Consorzio Naz.le Interuniversitario per le Scienze Fisiche della Materia)

IIT (Istituto Italiano di Tecnologia)

Piano di studi del curriculum (1)

6 CFU di insegnamenti di laboratorio (FIS/01):

Laboratorio di fisica quantistica

Laboratorio di strumentazioni fisiche

M. Galli

F. Marabelli

6 CFU di insegnamenti di fisica teorica (FIS/02):

Complementi di fisica teorica

Computational methods in physics

Meccanica statistica

Problem solving in fisica

Quantum electrodynamics

Termodinamica quantistica

B. Pasquini

F. Piccinini

G. Livan

Andreani, Carante, Livan, Negri

A. Bacchetta

M. Sacchi

36 CFU di insegnamenti di area (FIS/03, segue)

12 CFU di insegnamenti di altre aree: vedi elenco

12 CFU a scelta libera

48 CFU tesi di laurea magistrale

*la fisica è una scienza
sperimentale...*

Piano di studi del curriculum (2)

36 CFU di insegnamenti di area (FIS/03):

<i>Magnetismo e superconduttività</i>	<i>G. Prando</i>
<i>Fisica dello Stato Solido I</i>	<i>L. Andreani</i>
<i>Fisica dello Stato Solido II</i>	<i>M. Cococcioni</i>
<i>Spettroscopia dei materiali</i>	<i>M. Patrini, P. Galinetto</i>
<i>Fisica e tecniche ultraveloci per lo stato solido</i>	<i>G.F. Mancini</i>
<i>Fisica dei dispositivi elettronici a stato solido</i>	<i>V. Bellani</i>
<i>Nanostrutture quantistiche</i>	<i>D. Gerace</i>
<i>Fotonica</i>	<i>M. Liscidini</i>
<i>Fisica quantistica della computazione</i>	<i>C. Macchiavello</i>
<i>Ottica quantistica</i>	<i>L. Maccone</i>

Permette un piano di studi flessibile e personalizzabile con diversi profili: Fisica sperimentale, fisica computazionale dei solidi, ottica, fotonica, nanostrutture, spettroscopia e scienza dei materiali, ottica quantistica...

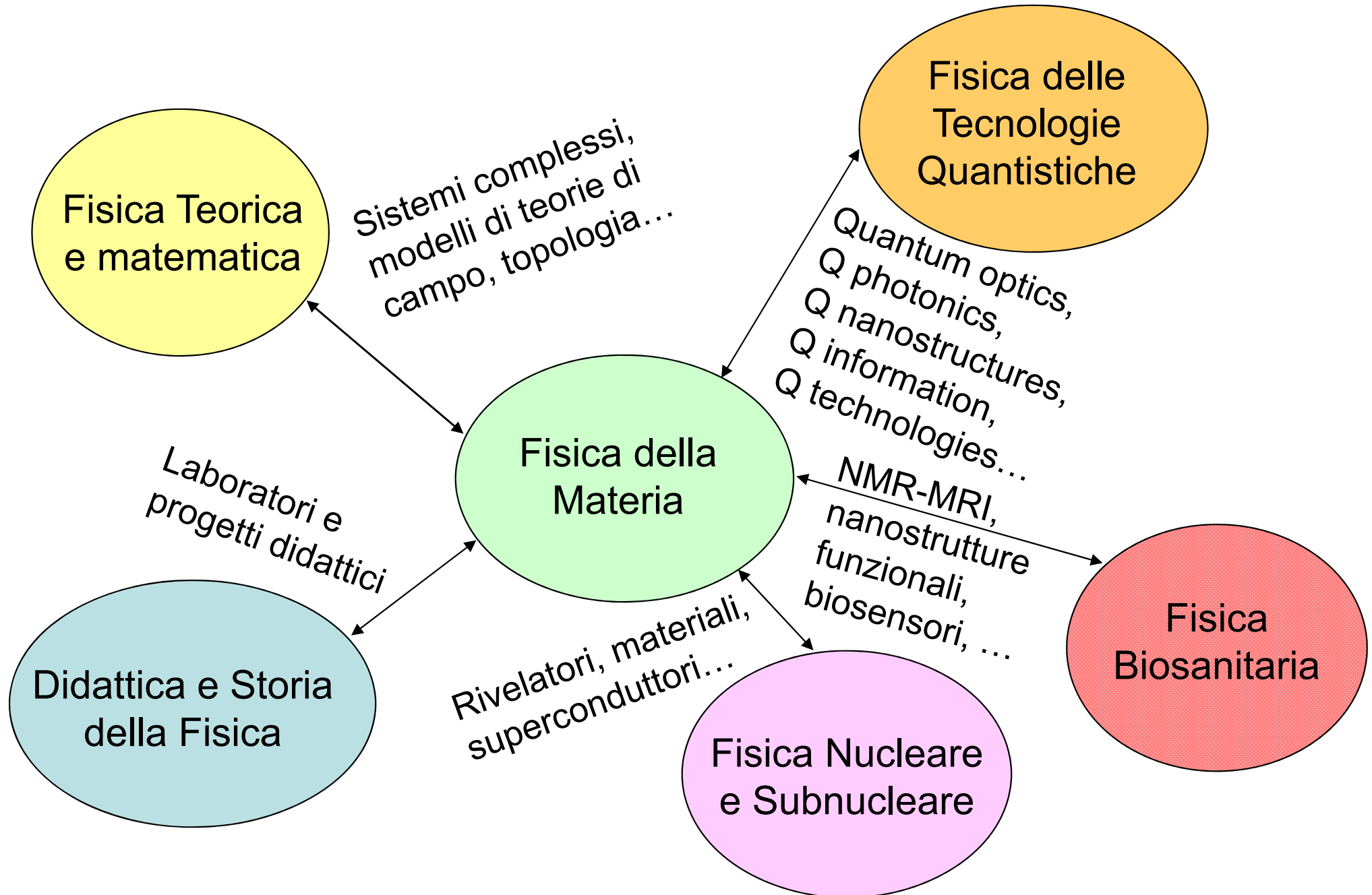
È possibile inserire 2 laboratori e/o 2 insegnamenti di fisica teorica sfruttando i 12 CFU a scelta libera

Piano di studi del curriculum (3)

12 CFU di insegnamenti affini e integrativi, di altre aree:

<i>Teoria dei sistemi dinamici</i>	<i>MAT</i>	<i>Marzuoli</i>
<i>Nanochimica e nanomateriali</i>	<i>CHIM</i>	<i>Malavasi Tamburini</i>
<i>Introduzione alla scienza dei materiali con lab</i>	<i>CHIM</i>	<i>Bini Capsoni Malavasi</i>
<i>Nuovi materiali e processi per il fotovoltaico</i>	<i>CHIM</i>	<i>Grancini</i>
<i>Tecniche di caratterizzazione dei materiali</i>	<i>CHIM</i>	<i>Bini Milanese</i>
<i>Chimica dei beni culturali</i>	<i>CHIM</i>	<i>Licchelli</i>
<i>Machine learning</i>	<i>ING-INF</i>	<i>Cusano</i>
<i>Artificial intelligence</i>	<i>ING-INF</i>	<i>Piastra</i>
<i>Industrial laser design</i>	<i>ING-INF</i>	<i>Agnesi</i>
<i>Optoelectronic devices</i>	<i>ING-INF</i>	<i>Giuliani</i>
<i>Optical communication</i>	<i>ING-INF</i>	<i>Giuliani</i>
<i>Programmazione 1</i>	<i>ING-INF</i>	<i>Gualandi</i>
<i>General biology, anatomy and human physiology</i>	<i>BIO</i>	<i>Facoetti</i>

I curricula della laurea magistrale



Caratteristiche delle ricerche in Fisica della Materia

- Esperimento e teoria sono molto vicini
- Vi sono linee di ricerca di natura fondamentale o applicativa (salute, ambiente, energia...), a volte sugli stessi sistemi
- Il mondo delle nanotecnologie offre innumerevoli spunti e sempre nuovi materiali/strutture per ricerche innovative
- Molte collaborazioni, internazionali, nazionali, interdisciplinari
- I progetti di ricerca e gli esperimenti sono spesso sulla scala di 1-3 anni, in gruppi medio-piccoli: è possibile concepire l'idea e vederla realizzata qualche anno dopo (il tempo di laurea o dottorato...)
- La scala dei progetti e degli esperimenti permette di impraticchirsi di tecniche diverse, curare i dettagli, diventare responsabile della propria attività. E sviluppare abilità (skills) ...

Fisica sperimentale della materia & fotonica

- Gruppo NMR-NQR: superconduttività, magnetismo, proprietà collettive e transizioni di fase, rotori molecolari, quantum sensing
- Gruppo Raman-EPR: ossidi, isolanti, SERS – Surface enhanced Raman scattering, beni culturali, plasmonica
- Gruppo di dinamica ultraveloce: microscopia EUV-soft X ray, nanomateriali, processi risolti in tempo (10^{-15} s) e spazialmente (10^{-10} m)
- Gruppo di Microscopia a Effetto Tunnel: grafene, nanomateriali 2D
- Gruppo di spettroscopia ottica: fotonica integrata in Si, sistemi nano-fotonici e plasmonici, metamateriali e metasuperfici, materiali compositi, nanoparticelle

Fisica teorica della materia

- Fisica computazionale a principi primi, materiali per l'energia
- Fotonica e nanostrutture quantistiche, interazione radiazione-materia, ottica nonlineare, sistemi quantistici aperti, (quantum computing, quantum tech...)

<https://fisica.dip.unipv.it/it/ricerca/linee-e-gruppi-di-ricerca/fisica-sperimentale-della-materia>

<https://fisica.dip.unipv.it/it/ricerca/linee-e-gruppi-di-ricerca/fisica-teorica-della-materia>

Gruppo NMR (<http://nmrphysics.unipv.it>)



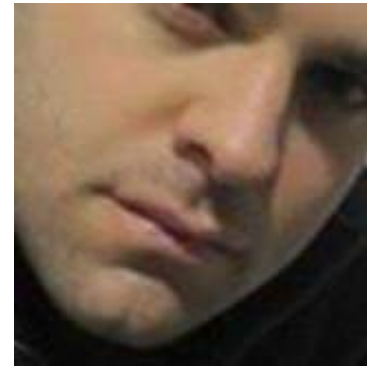
Francesca
Brero



Pietro
Carretta



Alessandro
Lascialfari



Manuel
Mariani



Giacomo
Prando

Tecniche sperimentali: Risonanze Magnetiche NMR, NQR, μ SR, MRI, WBESR; Magnetometria SQUID, trasporto

Linee di Ricerca in Fisica della Materia:

- Superconduttività: Fe-based SC, effetti di impurezze, fluttuazioni nematiche e termodinamiche, ordine di carica, effetti orbitalmente selettivi.
- Magnetismo: magneti frustrati, magneti molecolari, transizioni di spin indotte otticamente, effetti di correlazione e spin-orbita, nanoparticelle.
- Rotori molecolari
- Quantum sensing mediante NMR/ μ SR/magnetometria

Gruppo Raman-EPR



Pietro Galinetto



Enrico Giulotto



Maria Cristina Mozzati



Giovanni Pellegrini

Tecniche sperimentali:

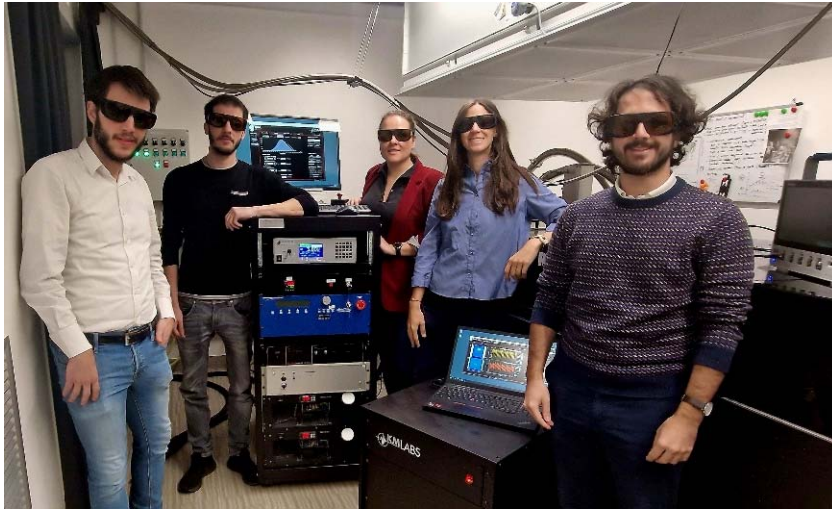
- Micro Raman
- Raman ad alta risoluzione
- Magnetometro SQUID
- EPR (Electron Paramagnetic Resonance)

Linee di Ricerca in Fisica della Materia:

- Ossidi funzionali
- Eterostrutture GaAsN-GaAsN:H
- SERS – Surface Enhanced Raman Scattering
- Nanomedicina
- Analisi applicate a conservazione beni culturali e di interesse industriale o forense
- Modellizzazione di strutture plasmoniche, applicazioni di AI alla spettroscopia Raman

Gruppo di microscopia ultraveloce: LUXEM (Lab for Ultrafast X-ray & Electron Microscopy)

<https://luxem.unipv.it/>



Giulia Fulvia Mancini, Nicola Giani, Simone Restelli, Giulia Lallo, Claudia Schrama, Antonio Mazzarone, Domenico Compagnini

Tecniche sperimentali risolte in tempo:

- Microscopia iperspettrale con soft X-rays
- Diffrazione e microscopia elettronica
- Free Electron Lasers, Synchrotrons: Assorbimento, Emissione e Diffrazione hard X-rays

Linee di Ricerca in Fisica della Materia:

- Ottica nonlineare ed interazione fotoni-elettroni (risoluzioni 10^{-10}m e 10^{-15}s)
- High-Harmonic generation (HHG) ed attosecondo
- Relazioni struttura – proprietà, durante il processo funzionale in nanomateriali
- Topologie chirali e fasci dotati di Momento Angolare Orbitale

Gruppo di spettroscopia ottica



Massimo Borghi



Francesco Floris



Matteo Galli



Franco Marabelli



Maddalena Patrini

Tecniche sperimentali:

- Spettroscopia UV-visibile-infrarosso
- R & T risolta in angolo, R & A diffusa
- Ellissometria spettroscopica
- Assorbimento fotoindotto, FTIR
- Pump and probe, Photon entanglement
- Microscopia a forza atomica
- Spettroscopia laser, scattering risonante e accoppiamento in fibra

Linee di Ricerca in Fisica della Materia:

- Fotonica integrata in Si
- Sistemi fotonici e plasmonici per amplificazione di campo e sensoristica
- Materiali compositi per applicazioni in ottica e energetica
- Nanoparticelle, superfici nanostrutturate e Metamateriali

Gruppo di Microscopia a Effetto Tunnel



Vittorio Bellani



Domenic Prete

Tecniche sperimentali risolte in tempo:

- Scanning Tunneling Microscopy
- Scanning Probe Spectroscopy
- Electrostatic/Kelvin Probe Force Microscopy

Linee di Ricerca in Fisica della Materia:

- Nanomateriali per tecnologie quantistiche, bioscienze, energia
- Grafene e materiali bi-dimensionali
- Dispositivi per fotonica quantistica
- Risoluzione spaziale atomica, 1 Ångström.

Ricerche in Fisica computazionale, Fotonica e Nanostrutture



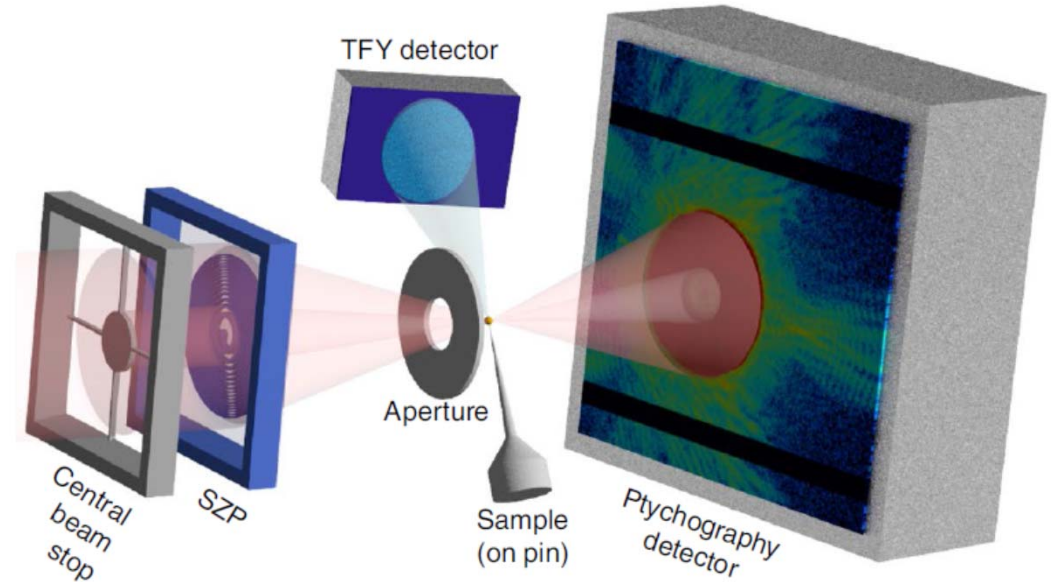
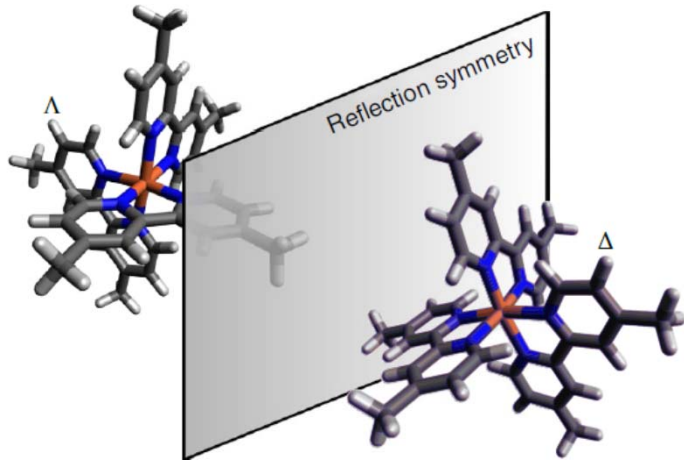
Lucio Andreani Matteo Cococcioni Dario Gerace Giacomo Guarnieri Marco Liscidini

- Fisica computazionale dei solidi a principi primi
- Fotonica e nanostrutture quantistiche
- Silicon photonics, fotovoltaico, batterie...
- Fondamenti: proprietà topologiche, sistemi aperti, fase di Berry...
- Termodinamica di precisione
- Ottica nonlineare
- (Quantum computing, quantum technologies...)

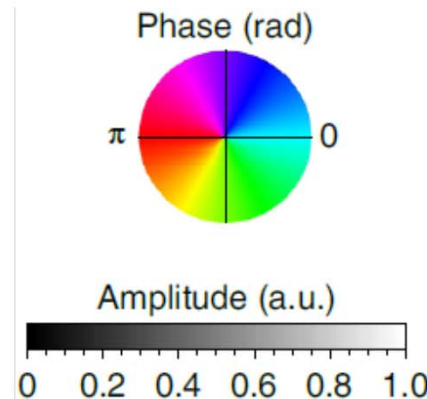
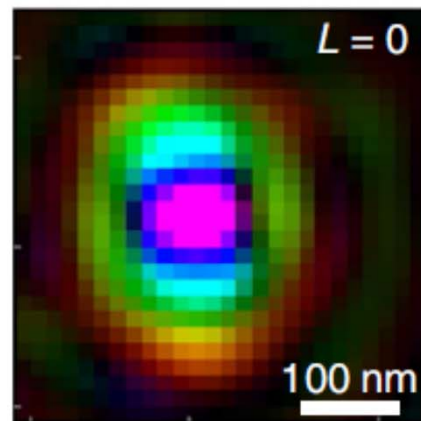
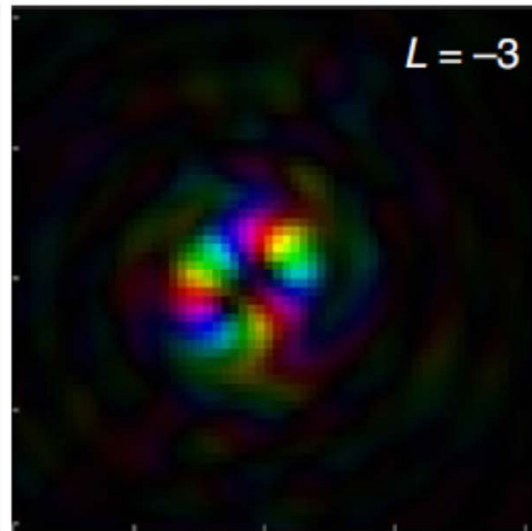
X-ray helical dichroism and chirality

J.R. Rouxel, G.F. Mancini et al, Nature Photonics 16, 570 (2022)

chirality = absence of a mirror plane



X-ray beams with Orbital Angular Momentum & topological charge



+ ptychography

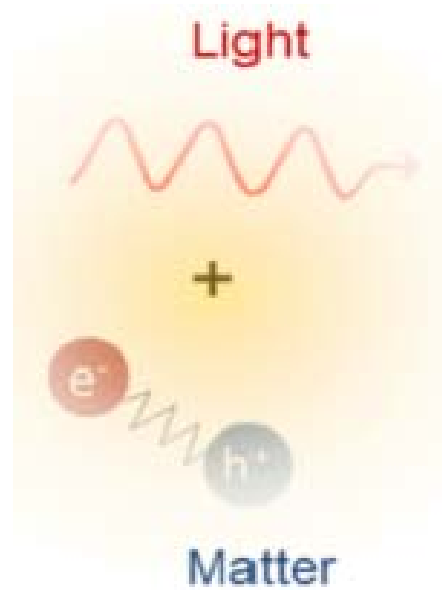


- probe of molecular chirality
- angular momentum of light (orbital & spin)

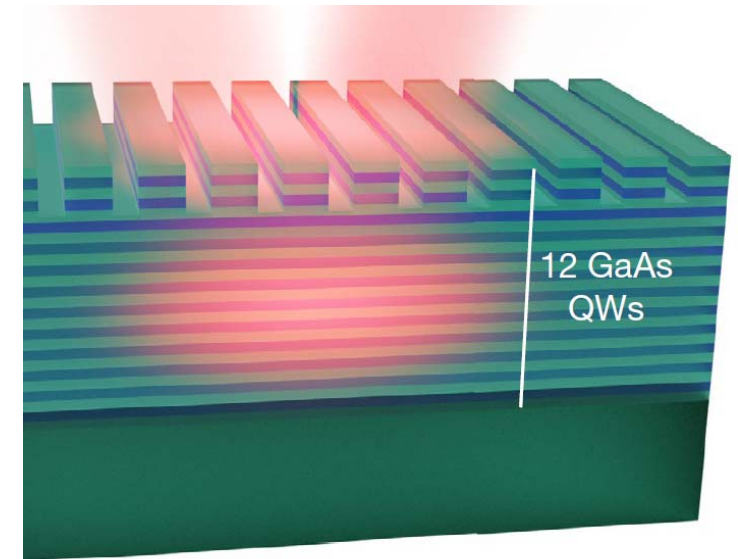
Polariton Bose–Einstein condensate

V. Ardizzone, S. Zanotti, D. Gerace, D. Sanvitto et al, Nature 605, 447 (2022)

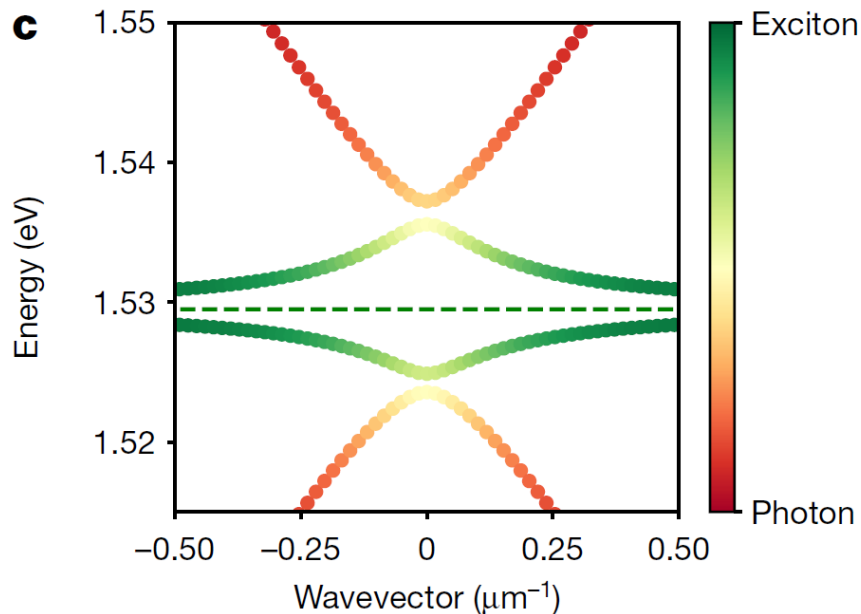
Polaritons = half wave, half matter: mixed modes of the electromagnetic field and of a material excitation



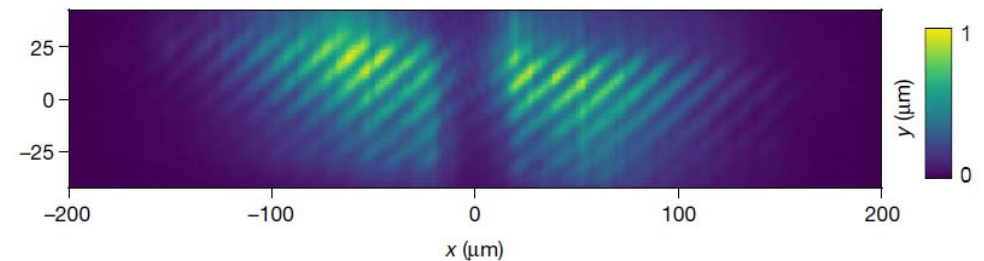
1D grating on GaAs QWs



Polariton dispersion

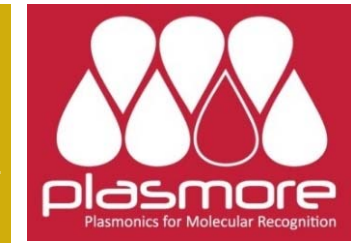


Interferogram of polariton condensate



Biosensori basati su risonanza plasmonica

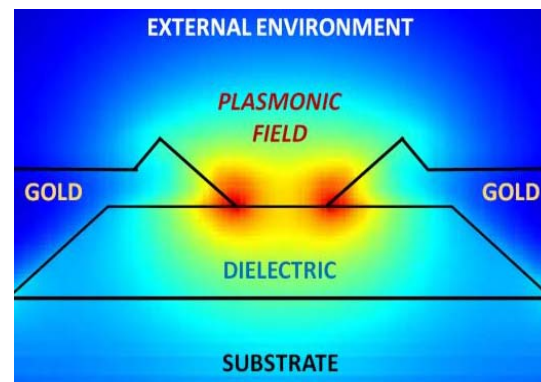
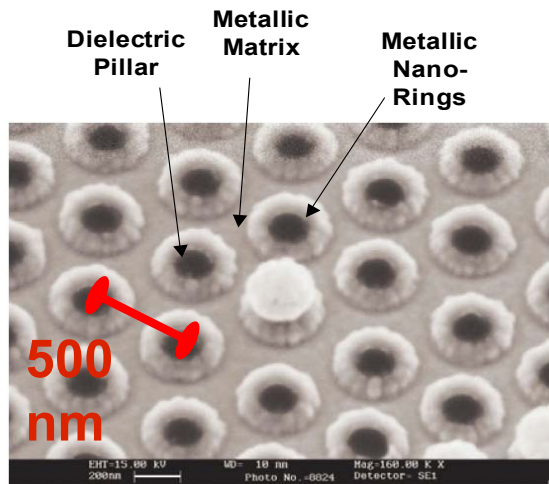
M. Bolognesi, F. Marabelli et al,
Adv Mat 2023, 35, 2208719



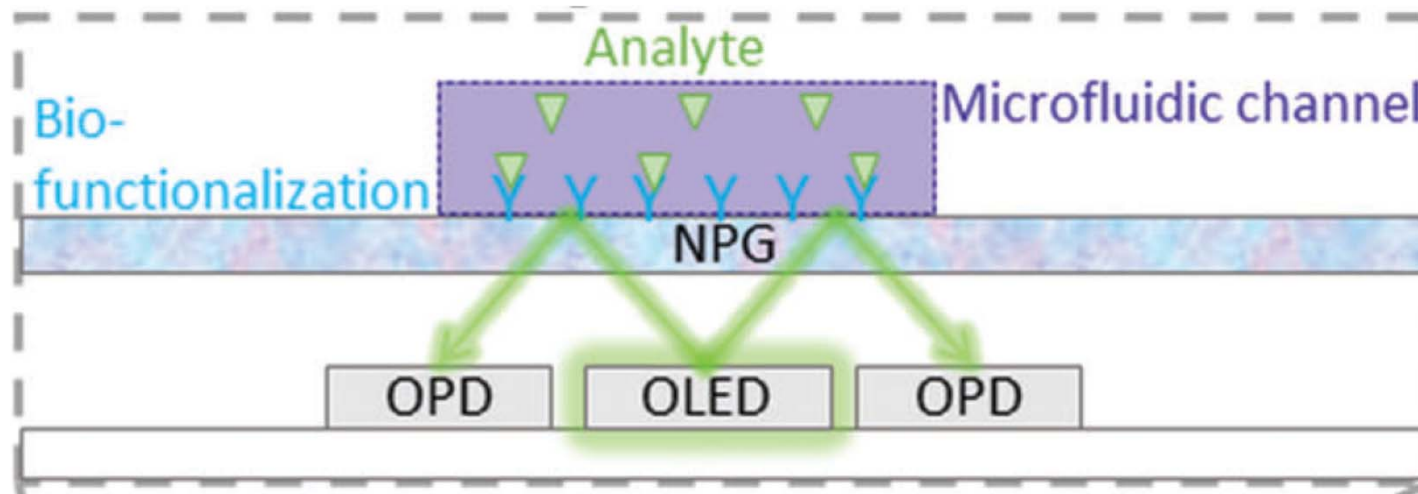
Plasmore s.r.l. (spin-off company)

www.plasmore.com

Worldwide patented technology



Field enhancement
tuned by nanostructure



Fisica della materia

Cosa diceva Wolfgang Pauli?

"La fisica della materia condensata è una fisica *sporca* (anche se l'ho inventata io)"

Cosa pensano gli studenti?

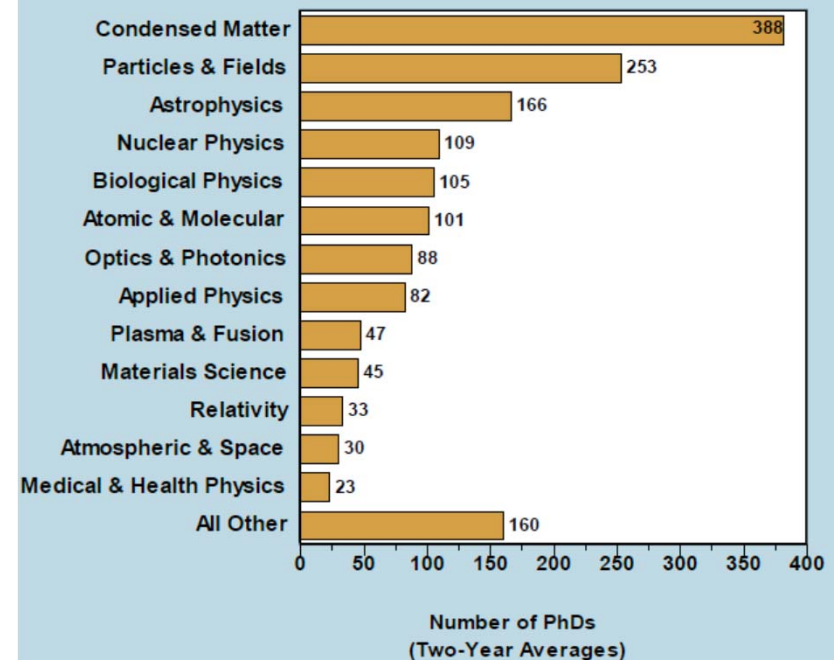
"I fisici si dividono in a) teorici, b) particellari, c) *materialisti*, d)..."

Cosa dicono le statistiche?

Condensed Matter + Optics & Photonics + Materials Science \approx 32% del totale delle tesi di PhD in U.S.A.



Number of Physics PhDs Granted by Subfield From Physics Departments, Classes of 2010 & 2011 Combined.



www.aip.org/statistics

... ma non è un po' noiosa?



- Fisica fondamentale/applicata
- Fisica sperimentale/teorica
- La base di moltissime tecnologie

