

# Ingegneria Fisica – Laboratori progettuali sperimentali AA 2021-2022

## RL1

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
11 – Fisica degli impulsi ad attosecondi e loro applicazioni	M.Nisoli	DFIS	<p>Gli impulsi ad attosecondi (<math>1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}</math>) sono gli eventi artificiali più brevi che l'uomo sia mai stato in grado di creare. In questo laboratorio lo studente apprenderà i fondamenti della fisica degli attosecondi, per applicazioni di fotofisica ultraveloce su scale temporali estreme nello stato solido (materiali 2D) e in molecole di interesse biologico (DNA) e/o per applicazioni optoelettroniche (fotovoltaico organico). In questo laboratorio lo studente realizzerà due esperimenti che sono alla base della tecnologia ad attosecondi.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Generazione di impulsi ultrabrevi di elevata energia mediante compressione nonlineare in hollow core fiber: lo studente dovrà realizzare l'apparato sperimentale utilizzando inizialmente un laser in continua, per studiare le caratteristiche lineari del processo, e poi un laser a femtosecondi di alta energia.</li> <li>- Misura di una caratteristica molto elusiva di un impulso laser ultrabreve, estremamente importante per generazione di impulsi ad attosecondi: la carrier-envelope phase (CEP), cioè la fase della portante dell'impulso rispetto all'involuppo. Lo studente dovrà realizzare un interferometro nonlineare che permette di misurare le variazioni di CEP. Ciò permetterà allo studente di osservare e utilizzare vari effetti nonlineari, come la generazione di luce bianca (supercontinuo) in un cristallo di zaffiro (legato all'effetto Kerr ottico) e la generazione della seconda armonica in un cristallo nonlineare.</li> </ul> <p>In entrambi gli esperimenti lo studente realizzerà personalmente l'apparato sperimentale partendo dai singoli elementi ottici: avrà quindi modo di fare esperienza diretta di un'attività di ricerca sperimentale nel campo della tecnologia laser a femtosecondi e attosecondi.</p>	mauro.nisoli@polimi.it
12 – Dinamiche elettroniche nell'interazione tra materia ed impulsi laser ultrabrevi	S. Stagira	DFIS	<p>In questo laboratorio progettuale lo studente affronterà a scelta una delle seguenti tematiche sperimentali, il cui fattore comune è la manipolazione e caratterizzazione del moto elettronico nella materia mediante impulsi laser ultrabrevi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Armoniche di ordine elevato generate in semiconduttori. La misura dell'intensità e della polarizzazione delle armoniche (fino al 19° ordine) prodotte in semiconduttori mediante impulsi laser nel medio IR verrà messa in relazione alla struttura delle bande elettroniche ed alla fisica dell'interazione ad elevate intensità ottiche.</li> <li>- Interazione tra portatori di carica ed eccitazioni fononiche in semiconduttori a reticolo soffice. Mediante impulsi di singolo ciclo ottico nel lontano IR verrà analizzata l'interazione elettrone-fonone (polarone) in materiali di interesse optoelettronico a struttura perovskitica eccitati otticamente.</li> <li>- Generazione di radiazione XUV-soft X coerente in dispositivi micro-fluidici. Verranno caratterizzati dispositivi microfluidici dedicati alla generazione efficiente di radiazione nella regione 20-300 eV per emissione di armoniche di ordine elevato in gas nobili e molecolari mediante impulsi intensi ed ultrabrevi nel vicino IR.</li> </ul> <p>Lo studente approfondirà l'argomento prescelto attraverso la letteratura scientifica ed effettuerà in laboratorio delle misure sperimentali impiegando strumentazione avanzata nel quadro dei progetti di ricerca avviati sulle tematiche indicate.</p>	salvatore.stagira@polimi.it
13 – Risposta ottica ultraveloce di materiali organici rivelata con tecniche spettroscopiche	G.Cerullo M.Maiuri	SDIF	<p>In questo laboratorio verranno appresi i fondamenti della spettroscopia ottica ultraveloce dei materiali organici e polimerici, che consente di misurarne la risposta ottica sulla scala temporale dei femtosecondi (<math>1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}</math>), non accessibile con alcuna altra tecnica sperimentale e di estremo interesse per applicazioni all'optoelettronica e per per alcuni processi negli organismi viventi.</p> <p>Lo studente apprenderà una o più delle seguenti tecniche sperimentali:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Generazione di impulsi a femtosecondi accordabili tramite effetti ottici non lineari (amplificazione ottica parametrica);</li> <li>- Caratterizzazione della durata degli impulsi a femtosecondi mediante tecnica di autocorrelazione ottica non lineare;</li> <li>- Studio della risposta ottica ultraveloce di materiali organici, quali semiconduttori polimerici, proteine fotosintetiche e altri biomateriali, mediante tecniche di spettroscopia risolta in tempo a due e tre impulsi.</li> </ul>	giulio.cerullo@polimi.it margherita.maiuri@polimi.it
14 – Materiali e dispositivi per la fotonica	G.Lanzani F.Scotognella	DFIS	<p>La proposta riguarda due attività:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'interfaccia uomo-macchina richiede l'utilizzo di materiali bio compatibili e funzionali, con prestazioni elevate anche in termini di durata e robustezza, e la comprensione di meccanismi complessi di interfaccia tra il modo abiotico e quello biotico. L'attività proposta riguarda la caratterizzazione di nano-materiali che possono essere usati per sviluppare interfacce e/o lo studio di sistemi modello dell'interfaccia. Questi studi hanno ricadute ampie nel mondo della robotica e della scienza della vita. In particolare potrebbero portare ad applicazioni rivoluzionarie in campi quali le protesi (vedi la protesi retinica sviluppata dal nostro laboratorio), la cura di pazienti paralizzati o che hanno subito amputazioni e la robotica soffice.</li> <li>- Studio delle strutture fotoniche con tecniche di simulazione numerica. I cristalli fotonici presentano una periodicità dell'indice di rifrazione con dimensioni comparabili con la lunghezza d'onda della luce. In tali cristalli fotonici in un certo intervallo di energia, detta zona proibita fotonica, vengono riflessi, in analogia con la zona proibita elettronica per gli elettroni nei semiconduttori. Con opportuni strumenti di calcolo, studieremo le proprietà ottiche di strutture fotoniche monodimensionali. Le simulazioni saranno confrontate con risultati sperimentali su campioni presenti in laboratorio. Per simulazioni accurate si terrà conto della dispersione dell'indice di rifrazione.</li> </ul>	guglielmo.lanzani@polimi.it francesco.scotognella@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
15 – Intelligenza artificiale e microscopia vibrazionale di cellule e tessuti	D.Polli	DFIS	La proposta riguarda diverse possibili attività, che si decideranno con i singoli studenti in base alle loro attitudini e alla disponibilità: 1) Microscopia ottica avanzata, in varie modalità tra cui spettroscopia vibrazionale Raman spontanea e coerente (CARS e SRS), generazione di seconda armonica, fluorescenza a due fotoni, utilizzando laser in continua o ad impulsi a femtosecondi. 2) Applicazioni di tali metodi innovativi lineari e non-lineari all'imaging di cellule e tessuti per applicazioni biologiche, come l'identificazione dei tumori in maniera <i>label-free</i> e non invasiva e lo studio di patologie, in collaborazione con biologi e laboratori di biomedicina italiani e stranieri. 3) Analisi dei dati con metodi di intelligenza artificiale (deep learning), una delle combinazioni più innovative e promettenti della ricerca scientifica ed ingegneristica. A seguito di un periodo di formazione riguardo i principi alla base del funzionamento delle reti neurali artificiali (python), lo studente avrà la possibilità di contribuire allo sviluppo e ottimizzazione di algoritmi per ridurre il rumore ed estrarre le informazioni rilevanti per una corretta interpretazione chimica del contenuto molecolare dei campioni biologici misurati con i microscopi vibrazionali di cui sopra. Lo studente sarà coinvolto in progetti altamente innovativi e di grande attrattiva per la fotonica e la biomedicina.	dario.polli@polimi.it
16 – Risposta ottica ultraveloce di nanomateriali rivelata con tecniche spettroscopiche	S.Dal Conte C.Gadermaier	DFIS	In questo laboratorio verranno appresi i fondamenti della spettroscopia ottica ultraveloce dei nanomateriali, che consente di misurarne la risposta ottica sulla scala temporale dei femtosecondi, di estremo interesse per applicazioni all'optoelettronica. Lo studente apprenderà una o più delle seguenti tecniche sperimentali: - Generazione e caratterizzazione di impulsi a femtosecondi accordabili tramite effetti ottici non lineari (amplificazione ottica parametrica); - Studio della risposta ottica ultraveloce di materiali nanostrutturati, quali nanoparticelle di metallo o semiconduttore, grafene e altri materiali bidimensionali, mediante tecniche di spettroscopia risolta in tempo a due e tre impulsi. - Studio di fenomeni di trasferimento di cariche e dinamica di spin in eterostrutture bidimensionali - Studio della risposta ottica statica al variare della temperatura tramite tecnica di reflectance contrast spectroscopy	stefano.dalconte@polimi.it christoph.gadermaier@polimi.it
17 – Materiali molecolari e supramolecolari per l'optoelettronica e la fotonica	G.M.Paternò	DFIS	In questo laboratorio, lo studente studierà le interazioni luce-materia in materiali molecolari e supramolecolari tramite tecniche di spettroscopia ottica di assorbimento ed emissione. In particolare, il laboratorio si articola in due attività complementari: - Preparazione di materiali nanometrici (ad esempio nanoparticelle) attraverso tecniche di assemblaggio supramolecolare, in modo da accordare la risposta spettrale nell'intero intervallo del visibile e del vicino infrarosso; - Studio delle proprietà ottiche, principalmente tramite spettroscopie ottiche (assorbimento ed emissione) sia in molecole isolate che negli addotti supramolecolari. Questo permetterà di valutare il campo di applicazione dei suddetti materiali. A titolo di esempio, un assorbimento marcato ed esteso nello spettro visibile e nel vicino infrarosso è ideale per applicazioni nel fotovoltaico, mentre una alta resa di emissione è desiderabile per applicazioni in diodi a emissione di luce ed in dispositivi laser.	giuseppemaria.paterno@polimi.it

## RL2

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
21 – Sintesi di impulsi ottici a larga banda nel medio infrarosso	M. Marangoni D. Gatti	LECCO	La tesi riguarda lo studio teorico, numerico e sperimentale di un processo di generazione di frequenza differenza (DFG) applicato alla sintesi di impulsi a larga banda nel medio infrarosso per spettroscopia ultra-veloce e di precisione. Il lavoro di tesi comporta: i) lo studio dei processi parametrici in regime di impulsi ultrabrevi in mezzi non lineari del II ordine; ii) lo sviluppo di un programma in ambiente Matlab per il calcolo della banda di phase-matching di un processo di generazione di frequenza differenza (DFG); iii) la simulazione numerica di un processo DFG a partire da impulsi a femtosecondi nel vicino infrarosso di caratteristiche note; iv) la caratterizzazione sperimentale del processo DFG simulato, comprendente la misura della potenza ottica e dello spettro degli impulsi nel medio infrarosso generati per DFG ed il confronto con le previsioni numeriche	marco.marangoni@polimi.it davide.gatti@polimi.it
22 – Progettazione e realizzazione di laser a stato solido e in fibra ottica nel vicino e medio infrarosso	G. Galzerano	DFIS	Il laboratorio progettuale è rivolto alla progettazione e realizzazione di sorgenti laser e amplificatori ottici con emissione nel vicino/medio infrarosso (laser a Cr2+, a Dy3+, a Tm3+, a Er3+). Lo studente affronta problematiche relative a: - progettazione e realizzazione di sistemi di pompaggio ottico per laser a stato solido e in fibra ottica e di risonatori ottici anche in presenza di lente termica; - implementazione di tecniche per l'accordabilità della lunghezza d'onda di emissione di laser (etalon, prismi, reticoli di diffrazione, lamina birifrangente) - implementazione di tecniche di mode-locking passivo per la generazione di impulsi ultrabrevi (assorbitori saturabili, effetti nonlineari quali Kerr lens e rotazione della polarizzazione) - caratterizzazione delle prestazioni del laser realizzato: potenza di uscita, accoppiamento ottimo, accordabilità, durata degli impulsi e spettro. Lo studente per la progettazione dei sistemi laser si avvarrà anche di strumenti software (LASCAD, fibre-pro, Matlab).	gianluca.galzerano@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
23 – Studio teorico e modellistico di processi quantomeccanici ed elettromagnetici	G. Della Valle S. Longhi	DFIS	Il laboratorio modellistico riguarda lo studio teorico e la simulazione numerica di semplici problemi di meccanica quantistica e ottica/elettromagnetismo. Alcuni esempi includono: diffrazione di pacchetti d'onda; - propagazione di fasci di Airy; - supersimmetria in meccanica quantistica; - potenziali reflectionless e invisibili; - potenziali di Kramers-Kronig. E' richiesta la conoscenza di programmazione Matlab e di elementi di calcolo numerico.	giuseppe.dellavalle@polimi.it stefano.longhi@polimi.it
24 – Tecniche avanzate di spettroscopia molecolare con pettini di frequenze ottici	A. Gambetta	DFIS	L'attività proposta riguarderà tecniche di spettroscopia molecolare di precisione e spettrometria di sostanze di particolare interesse ambientale e biomedico (CO2, NO, acetilene) tramite l'utilizzo diretto di laser in mode-locking nel vicino e medio infrarosso in configurazione di pettini di frequenze (Laser Optical Frequency Combs). Saranno in particolare affrontate le seguenti tematiche: - stabilizzazione del pettine di frequenza e suo impiego per la spettroscopia e spettrometria a larghissima banda e in tempo reale (Dual-Comb, Vernier spectroscopy, Scanning Microcavity - SMART...). - progettazione del sistema di spettroscopia a partire dalla selezione delle righe di assorbimento della molecola di interesse utilizzando database ad accesso libero (HITRAN, GEISA, ...) e dimensionamento del sistema e dei suoi componenti mediante l'uso di programmi di calcolo numerico (MATLAB). L'esperienza consentirà allo studente di approfondire tematiche relative all'impiego di tecniche spettroscopiche avanzate e sistemi laser innovativi sia per studi di fisica di base che per possibili applicazioni tecnologiche.	alessio.gambetta@polimi.it
25 – Tecniche di fabbricazione di circuiti ottici riconfigurabili	A. Crespi	DFIS	I circuiti in guida d'onda permettono di effettuare complesse operazioni di manipolazione ed elaborazione di segnali ottici, con applicazioni che spaziano dalle telecomunicazioni all'elaborazione dell'informazione classica e quantistica. La fase interferometrica può essere controllata in modo attivo all'interno del circuito sfruttando l'effetto termooptico, permettendo così di riconfigurare dinamicamente l'operazione svolta dal circuito. In questo laboratorio progettuale saranno sperimentate tecniche innovative per: - la fabbricazione di guide d'onda ottiche a basse perdite tramite scrittura diretta con laser a femtosecondi; - la fabbricazione di controllori di fase termooptici ad alta efficienza tramite processi fotolitografici.	andrea.crespi@polimi.it
26 – Emissione di luce strutturata da matrici di guide d'onda	P. Paié	DFIS	L'attività proposta si concentra sulla fabbricazione, mediante laser a femtosecondi di diversi componenti ottici integrati per applicazioni di imaging. In particolare, lo studente avrà modo di prendere confidenza con: i) apparato sperimentale di micro-fabbricazione laser; ii) apparati sperimentali di caratterizzazione ottica; iii) programmazione in GCode. L'attività prevede il raggiungimento dei seguenti obiettivi: - ricerca dei parametri di irraggiamento laser per ottimizzare la performance ottica; - caratterizzazione dei componenti ottici.	petra.pae@polimi.it
27 – Rivelazione standoff di agenti chimici/biologici pericolosi	N. Coluccelli	DFIS	Tra le tecniche di rivelazione a distanza standoff (>1 m) di agenti chimici e biologici, la spettroscopia laser è sicuramente favorita. In particolare, la spettroscopia Raman coerente permette di rivelare il fingerprint spettrale delle sostanze di interesse con elevata risoluzione in tempo e frequenza, e un contributo di background (four-wave mixing non risonante e ambientale) praticamente nullo. Nell'ambito di questo laboratorio progettuale, sarà utilizzata una sorgente di impulsi ultrabrevi ad amplificatore parametrico per identificare alcune sostanze chimiche (toluene, acetonitrile, etc) o biologiche (spore di bacillus subtilis, simulante dell'antrace) a distanza di almeno un metro dal sistema di misura, ovvero in assenza di contatto tra l'operatore e l'agente bio-chimico in esame. L'attività prevede le fasi seguenti: - caratterizzazione della sorgente di impulsi ultrabrevi ad amplificatore parametrico utilizzata per spettroscopia CARS - rivelazione di simulanti di agenti chimici e biologici pericolosi tramite tecnica standoff CARS	nicola.coluccelli@polimi.it

### RL3

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
31– Computational imaging	C.D'Andrea A.Farina	DFIS	Nel laboratorio di computational imaging gli studenti affrontano uno o più dei seguenti temi relativi allo sviluppo ed utilizzo di tecniche di imaging ottico multidimensionale (spettro, tempo, spazio) per la caratterizzazione fotofisica di sistemi biologici: - Sviluppo e caratterizzazione di sistemi di imaging multispettrali risolti nel tempo per applicazioni in campo biomedico. - Sviluppo di algoritmi di compressione ed analisi di dati di fluorescenza multidimensionali.	cosimo.dandrea@polimi.it andrea.farina@polimi.it
32– Phantom	L.Spinelli A.Torricelli	DFIS	Per la verifica delle prestazioni della strumentazione e delle tecniche ottiche per misure in mezzi diffondenti (es. tessuti biologici) si utilizzano dei campioni calibrati (detti <i>fantocci</i> o <i>phantom</i> ) che vengono realizzati miscelando in opportune quantità dei componenti diffondenti (es. polvere di ossido di titanio) e assorbenti (es. polvere di toner) in una matrice solida (es. resina epossidica o silicone). Nel laboratorio lo studente realizzerà diversi phantom omogenei e/o eterogenei (es. con inomogeneità localizzate o a strati) ed effettuerà misure delle proprietà ottiche dei phantom su un ampio intervallo spettrale nel visibile e vicino infrarosso. Verranno anche progettati, realizzati e testati phantom per applicazioni specifiche quali standardizzazione di strumentazione per misure di spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso (fNIRS) per applicazioni alla misura delle funzioni cerebrali nell'uomo.	lorenzo.spinelli@polimi.it alessandro.torricelli@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
33 – Neurofotonica	D.Contini	DFIS	Nel laboratorio Neurofotonica lo studente affronta le problematiche relative a: <ul style="list-style-type: none"> <li>- modellistica fisica della propagazione di fotoni in strutture otticamente diffondenti ed eterogenee quali la testa e il muscolo dell'uomo;</li> <li>- misura delle perturbazioni indotte dalla variazione delle proprietà ottiche delle varie regioni del mezzo attraversato utilizzando sistemi modello (fantocci calibrati);</li> <li>- applicazione a misure <i>in vivo</i> (es. su muscolo e testa) durante protocolli di esercizi muscolari (studio della fatica neuromuscolare) o di stimolazione cerebrale (es. stimoli cognitivi, motori).</li> </ul> Lo studente utilizza (dopo breve formazione) gli strumenti disponibili nel laboratorio, predispone e realizza gli esperimenti, analizza i dati e discute la validità dei risultati (il tutto possibilmente in modo autonomo, ovvero non da semplice spettatore).	davide.contini@polimi.it
34 – Tecnologie innovative per la spettroscopia ottica diffusa	L. Di Sieno A.Dalla Mora	DFIS	Nel laboratorio di Tecnologie Innovative per la spettroscopia ottica diffusa gli studenti affrontano uno o più temi relativi allo sviluppo di nuove tecnologie ed approcci per l'ottica diffusa risolta nel tempo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- utilizzo di nuovi fotorivelatori con larga area eventualmente abilitabili in regime ultraveloce per l'aumento dell'efficienza di collezione del segnale ottico</li> <li>- utilizzo di innovative tecniche di photon counting ad elevatissimi tassi di conteggio</li> <li>- applicazione delle tecniche sopraelencate con misure su fantoccio ed, eventualmente, con misure <i>in-vivo</i> (es. su muscolo)</li> </ul> Le attività proposte si inseriscono nel filone di ricerca del laboratorio "Gated Photon Counting" (GAP) del Dipartimento di Fisica. Lo studente, infatti, dopo un'adeguata formazione e sotto la supervisione dei responsabili, utilizzerà le strumentazioni disponibili nel laboratorio, condurrà gli esperimenti e ne analizzerà i dati discutendo con i ricercatori coinvolti i risultati ottenuti.	laura.disieno@polimi.it alberto.dallamora@polimi.it
35 - Microscopia di fluorescenza iperspettrale per studi di biologia molecolare	A.Bassi A.Candeo	DFIS	Durante l'esperienza di laboratorio si utilizzeranno innovative tecniche di tomografia ottica e/o di microscopia iperspettrale basata su un metodo interferometrico. Lo strumento verrà utilizzato per lo studio di campioni di biologia molecolare. Lo studente acquisirà familiarità con la tecnica, comprendendo il funzionamento della tecnica di microscopia, caratterizzandola ed ottimizzandola. Raccoglierà i dati necessari per caratterizzare i campioni molecolari di interesse. Eseguirà la ricostruzione dell'immagine e/o dello spettro di emissione in tutti i punti del campo di vista. Analizzerà i dati allo scopo di determinare correlazione con specifiche domande biologiche.	andrea1.bassi@polimi.it alessia.candeo@polimi.it
36 – Spettroscopia ottica diffusa nel dominio del tempo	A.Pifferi	DFIS	Il laboratorio sfrutterà l'unicità della strumentazione sviluppata in Dipartimento per ricavare lo spettro di assorbimento e scattering di materiali fortemente diffondenti tramite tecniche di riflettanza diffusa risolta nel tempo. In particolare, verrà affrontata la problematica della spettroscopia di mezzi stratificati (es. diagnostica medica non-invasiva). Gli studenti verranno messi in grado di comprendere il funzionamento della strumentazione e delle tecniche di analisi. Compatibilmente con l'accessibilità del laboratorio in presenza, sarà possibile effettuare misure tempo-risolve su sistemi tessuto-equivalente e su materiali biologici. Attività previste: <ul style="list-style-type: none"> <li>- definizione della problematica;</li> <li>- comprensione della strumentazione per spettroscopia risolta nel tempo a singolo fotone basata su generazione di supercontinuo;</li> <li>- misura di campioni solidi di riferimento (se consentito accesso al laboratorio);</li> <li>- analisi su dati simulati o su misure sperimentali.</li> </ul>	antonio.pifferi@polimi.it

#### RL4

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
41 – Caratterizzazione ferroelettrica di materiali e dispositivi multi-ferroici	C.Rinaldi M.Cantoni	Polifab	Il consumo energetico del settore Information and Communication Technology è destinato a salire in modo esponenziale, secondo un andamento insostenibile rispetto al fabbisogno energetico globale. Negli ultimi anni, Intel ha sottolineato l'enorme salto in avanti (beyond-CMOS) che si può ottenere sfruttando lo spin degli elettroni unitamente alla polarizzazione dei materiali ferroelettrici, che offrono un alto potenziale in termini di elettronica ad ultra basso consumo (aJ) e con basse tensioni (< 100 mV). Il laboratorio di Spintronica, situato a PoliFab, si focalizza sullo studio di dispositivi elettronici basati sul trasporto di spin e controllati mediante materiali ferroelettrici. Partendo dalla progettazione dei dispositivi stessi, viene investigata la crescita e caratterizzazione delle eterostrutture, la fabbricazione mediante tecniche di litografia, ed infine la caratterizzazione magnetica ed elettrica del prototipo finale. Nell'esperienza progettuale verrà affrontata, per mezzo di tecniche elettriche (Sawyer-Tower, elettro-resistenza e metodi basati sulle correnti di spostamento), la misura dei parametri fondamentali (ciclo di isteresi P-E, temperatura di transizione di fase) di materiali ferroelettrici puri e/o collocati in dispositivi multi-ferroici di rilevanza in ambito elettronico e spintronico.	christian.rinaldi@polimi.it matteo.cantoni@polimi.it
42 – Micro-magnetismo per dispositivi magnonici	E.Albisetti D.Petti	Polifab	In questo laboratorio si studiano e si sviluppano metodi non convenzionali per controllare la fisica dei materiali alla nanoscala. Attraverso la nanolitografia termica, ovvero utilizzando la tecnica di litografia a scansione di sonda assistita termicamente (ta-SPL), è possibile modificare localmente le proprietà fisiche dei materiali alla nanoscala. Questa tecnica viene applicata nell'ambito dei materiali magnetici e spintronici per controllare la configurazione di spin di tali materiali e quindi le proprietà statiche e dinamiche della loro magnetizzazione (ad esempio skyrmioni e onde di spin). Nell'ambito dei materiali quantistici invece, questa tecnica viene utilizzata per controllare le proprietà elettroniche alla nanoscala, andando quindi a creare metamateriali con proprietà di trasporto uniche. Le attività progettuali, che si svolgeranno a Polifab, verteranno principalmente su: 1. Applicazione della tecnica ta-SPL ad uno dei sistemi sopracitati per il controllo delle proprietà magnetiche/di trasporto alla nanoscala. Caratterizzazione delle proprietà delle nano/microstrutture realizzate con microscopia a forza atomica o microscopia Kerr.	edoardo.albisetti@polimi.it daniela.petti@polimi.it

43 – Generazione e detezione di elettroni polarizzati in spin nei semiconduttori	F.Bottegoni  C.Zucchetti	DFIS	L'attività di laboratorio verte principalmente sullo studio della generazione e della rivelazione dello spin in semiconduttori del gruppo III-V (in particolare GaAs) e del gruppo IV (in particolare silicio e germanio). La popolazione di spin viene generata all'interno del semiconduttore tramite la tecnica di orientazione ottica, che permette di promuovere nella banda di conduzione del semiconduttore una popolazione di elettroni otticamente orientati in spin con una polarizzazione pari al 50%. Gli elettroni polarizzati vengono successivamente rivelati tramite la tecnica di effetto di spin-Hall inverso: depositando un sottile strato di platino sopra al semiconduttore, gli elettroni polarizzati, generati all'interno del semiconduttore, possono diffondere all'interno del metallo, dove lo scattering spin-dipendente separa gli elettroni con spin-up rispetto agli elettroni con spin-down. Questo permette di misurare una caduta di potenziale attraverso il metallo, proporzionale alla differenza tra due popolazioni di spin ed inferire le proprietà di trasporto fondamentali dello spin all'interno del semiconduttore.	federico.bottegoni@polimi.it  carlo.zucchetti@polimi.it
44 – Nanostrutture in grafene e relativi materiali bidimensionali	R.Sordan	L-NESS Como	In questo laboratorio viene eseguito lo studio sperimentale di dispositivi nanoelettronici basati su materiali bidimensionali (es. grafene, MoS <sub>2</sub> , WSe <sub>2</sub> e nitruro di boro). Le attività del laboratorio progettuale verteranno sulle tematiche oggetto di ricerca del laboratorio, e consisteranno in una parte sperimentale e una consecutiva analisi dei risultati ottenuti. Alcune delle possibili attività potranno essere: 1. Fabbricazione e la caratterizzazione elettrica di diodi in MoS <sub>2</sub> su materiale cresciuto tramite chemical vapour deposition. 2. Fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi elettronici basati su stack di materiali bidimensionali. 3. Caratterizzazione elettrica di transistor in grafene per l'analisi degli effetti di transistorio. Allo studente verrà fornita una breve formazione sui principi di funzionamento dei dispositivi basati su materiali bidimensionali. La validità dei risultati verrà discussa sulla base dei dati presenti in letteratura e con il supporto della teoria dei fenomeni fisici coinvolti.	roman.sordan@polimi.it
45 – Scienza e tecnologia dei materiali semiconduttori	G.Isella  D.Chrastina  J. Frigerio	L-Ness Como	1. Misure di diffrazione di raggi X di nanostrutture in silicio-germanio: misura del contenuto di germanio e della deformazione elastica tramite l'analisi delle mappe dello spazio reciproco; analisi e simulazione degli spettri di super-reticoli artificiali tramite software "open source". Lo studente apprenderà le modalità di analisi di misure di diffrazione di raggi X e le procedure necessarie per estrarre dai dati ottenuti le caratteristiche fisiche del campione. Per interpretare i risultati, allo studente verranno fornite della basi di teoria dello stato solido e di scienza dei materiali (spazio reciproco, sforzi e deformazioni in 2 e 3 dimensioni, difetti nei cristalli), e le teorie di diffrazione cinematica e dinamica. 2. Fabbricazione e caratterizzazione elettro-ottica di fotorivelatori per il vicino infrarosso. Gli studenti apprenderanno le tecniche fondamentali di fabbricazione utilizzate nell'industria microelettronica (litografia ottica, etching, deposizione di contatti metallici). I dispositivi verranno poi caratterizzati tramite misure di fotocorrente. I risultati saranno poi analizzati con il supporto di modelli numerici basati sulle equazioni di drift-diffusion nei semiconduttori.	daniel.chrastina@polimi.it  giovanni.isella@polimi.it  jacopo.frigerio@polimi.it  <b>N.B. 6 posti</b>
46 – Laboratorio di Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel (STM)	A.Brambilla  A.Picone	DFIS	Nell'esperienza progettuale lo studente affronta le seguenti tematiche: - analisi morfologica su scala atomica di sistemi a bassa dimensionalità (sistemi 2D, nanostrutture, film sottili); - studio microscopico della formazione di interfacce (tecniche di preparazione e caratterizzazione chimica e strutturale in ultra-alto vuoto); - spettroscopia puntuale tramite microscopio STM e studio della densità di stati locale; - implicazioni della caratterizzazione di sistemi a bassa dimensionalità per applicazioni in dispositivi elettronici e in spintronica. Lo studente (dopo breve formazione) si avvicinerà alle tematiche sopra descritte tramite lo studio di letteratura scientifica fornita dai relatori (porzioni di libri, review e articoli scientifici). Salvo diverse indicazioni normative, il laboratorio si svolgerà in presenza nell'arco di due settimane consecutive. La tematica specifica delle diverse analisi e approfondimenti sarà preventivamente concordata con ciascuno studente.	alberto.brambilla@polimi.it  andrea.picone@polimi.it

## RL5

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
51 – Spettroscopia di fotoemissione	A.Calloni  F.Ciccacci	DFIS	Nell'esperienza progettuale di fine III anno lo studente affronta le problematiche relative a: - preparazione di superfici pulite con tecnica di crescita epitassiale da fasci molecolari (MBE) e controllo della cristallinità superficiale con diffrazione elettronica (LEED); - caratterizzazione chimica di superficie con spettroscopia XPS; - studio degli stati pieni e vuoti con spettroscopia di fotoemissione (PES ed IPES, rispettivamente); - caratterizzazione dello stato di magnetizzazione del campione con spettroscopia Mott; - applicazione nella caratterizzazione di nano-strutture di superficie e film molecolari per applicazioni in dispositivi elettronici e spintronica. A causa dell'attuale emergenza, lo studente (dopo breve formazione a distanza) si avvicinerà alle tecniche sopra descritte tramite studio dettagliato di un articolo di ricerca pubblicato dal gruppo. I dati presenti verranno analizzati nuovamente con correlazioni diverse rispetto a quanto riportato nel lavoro originale (il tutto possibilmente in modo autonomo).	alberto.calloni@polimi.it  franco.ciccacci@polimi.it  <b>N.B.: 3 posti</b>

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
52 – Superconduttori: proprietà di trasporto e magnetiche	C.Dallera M.Moretti	DFIS	Vengono studiate le proprietà macroscopiche dei superconduttori ad alta temperatura. Utilizzando strumentazione standard (alimentatore DC, misuratore di tensione, generatore di funzione, amplificatore lock-in) si determina la temperatura critica superconduttiva ( $T_c$ ) di un campione di YBCO o BSCCO. La $T_c$ è ottenuta misurando la resistività e la suscettività magnetica in funzione di $T$ . Le misure sono eseguite anche in presenza di un campo magnetico, per studiarne gli effetti su $T_c$ . Infine, viene osservato il fenomeno della levitazione magnetica dovuta all'effetto Meissner, con una determinazione semi-quantitativa dell'energia magnetica in gioco.	claudia.dallera@polimi.it marco.moretti@polimi.it
53 – Analisi spettroscopica di risonanze ottiche in nanostrutture	M. Celebrano P.Biagioni M. Finazzi	DFIS	Intense risonanze ottiche possono essere generate in corrispondenza di interfacce o nanostrutture, sfruttando il moto collettivo degli elettroni nei metalli (plasmoni di superficie) o effetti di cavità nei dielettrici, e sono ampiamente utilizzate per aumentare l'efficienza delle interazioni radiazione-materia (ad es. in applicazioni di ottica nonlineare o di sensoristica molecolare). Le risonanze possono essere controllate scegliendo il materiale e la geometria di nanostrutture e film sottili e verranno analizzate in questa attività sperimentale mediante tecniche spettroscopiche tipiche di un laboratorio di nanofotonica.	michele.celebrano@polimi.it paolo.biagioni@polimi.it marco.finazzi@polimi.it
54 – Studio teorico e numerico di sistemi statistici complessi	P.Biscari	DFIS	Il laboratorio riguarda lo studio teorico e la simulazione numerica di semplici problemi di meccanica statistica, caratterizzati dalla loro complessità, legata alla presenza di disordine e/o di simmetrie che generano una molteplicità di stati di equilibrio. In entrambi i casi la dinamica è caratterizzata da fenomeni come valanghe e altri fenomeni critici auto-organizzati. Alcuni esempi includono: sistemi magnetici di Ising disordinati; fenomeni critici in plasticità e nelle leghe a memoria di forma.	paolo.biscari@polimi.it
55 – Nano-microscopia e spettroscopia di interfacce solido-liquido	G.Bussetti	DFIS	Nell'esperienza progettuale di fine III anno, lo studente affronta problematiche relative a: - preparazione di superfici in interfaccia liquido/solido; - caratterizzazione degli scambi di carica durante processi ossidativi o riduttivi; - problematiche connesse alle tecniche microscopiche in interfaccia liquido/solido; - caratterizzazione di superfici ed interfacce immerse in liquido tramite microscopie a scansione. A causa dell'attuale emergenza, lo studente (dopo formazione a distanza) si avvicinerà alle tematiche sopra descritte tramite lo studio dettagliato di un articolo di ricerca pubblicato dal gruppo. I dati presenti verranno analizzati nuovamente facendo emergere nuove correlazioni rispetto a quanto riportato nel lavoro originale (il tutto possibilmente in modo autonomo).	gianlorenzo.bussetti@polimi.it  <b>N.B.: 5 posti</b>
56 – Caratterizzazione sperimentale e numerica di ottiche per particelle cariche	A.Tagliaferri S.M.Pietralunga	DFIS	Il laboratorio riguarda l'applicazione dei concetti di ottica a raggi alla propagazione di elettroni e particelle cariche nei dispositivi fondamentali nelle applicazioni di ottica delle particelle. Gli studenti caratterizzeranno sperimentalmente il comportamento di apparati di ottica elettronica, quali lenti, deviatori e valvole che compongono i moderni microscopi elettronici e i dispositivi di fabbricazione sottrattiva e additiva alla nanoscala (FIB, fasci ionici focalizzati). Le osservazioni sperimentali verranno confrontate con i risultati di modelli numerici costruiti a partire dalle simulazioni delle traiettorie delle particelle cariche nei campi elettrici e magnetici generati all'interno dei dispositivi. L'utilizzo di software multifisico commerciale (COMSOL, MATLAB) permetterà di trattare con risultati realistici configurazioni anche complesse, utilizzando parametri dal significato fisico intuitivo e senza entrare nei dettagli della sofisticata trattazione numerica necessaria per le simulazioni.	alberto.tagliaferri@polimi.it
57 – Il moto browniano	E.Puppin	DFIS	Osservazione sperimentale del moto browniano, analisi quantitativa dei dati acquisiti e effettuazione di una stima del valore della costante di Boltzmann e delle dimensioni degli atomi utilizzando la teoria di Einstein. Successivo approfondimento teorico su uno degli aspetti statistici della teoria dei moti browniani: rumore termico, teorema delle fluttuazioni dissipative, equazione di Langevin e fenomeni stocastici, ...	ezio.puppin@polimi.it