

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
11 – Fisica degli impulsi ad attosecondi e loro applicazioni	M.Nisoli	DFIS	<p>Gli impulsi ad attosecondi ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$) 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"> • 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. • 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. <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"> • Armoniche di ordine elevato generate in semiconduttori. La misura dell'intensità delle armoniche ottiche (fino al 19° ordine) prodotte in semiconduttori da impulsi laser nel medio IR verrà messa in relazione alla struttura delle bande elettroniche del materiale ed alla fisica dell'interazione ad elevate intensità. • Interazione tra portatori di carica ed eccitazioni fononiche in semiconduttori. Mediante impulsi di singolo ciclo ottico nel lontano IR verrà analizzata l'interazione elettrone-fonone in materiali semiconduttori di interesse optoelettronico eccitati otticamente. • Generazione ed impiego di radiazione XUV-soft X coerente. Impulsi di radiazione nella regione 20-300 eV prodotti per generazione di armoniche di ordine elevato in dispositivi microfluidici verranno impiegati in misure di assorbimento transiente risolto in tempo in materiali semiconduttori fotoeccitati. <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	DFIS	<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 ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$), non accessibile con alcuna altra tecnica sperimentale e di estremo interesse per applicazioni all'optoelettronica e per per alcuni processi negli organismi viventi.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lo studente apprenderà una o più delle seguenti tecniche sperimentali: • Generazione di impulsi a femtosecondi accordabili tramite effetti ottici non lineari (amplificazione ottica parametrica); • Caratterizzazione della durata degli impulsi a femtosecondi mediante tecnica di autocorrelazione ottica non lineare; • 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. 	giulio.cerullo@polimi.it margherita.maiuri@polimi.it
14 – Materiali fotosensibili per interfaccia abiotica/biotica	G.Lanzani	DFIS	<p>La proposta riguarda la seguente attività:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. 	giuglielmo.lanzani@polimi.it
15 – Intelligenza artificiale e microscopia vibrazionale di cellule e tessuti	D.Polli	DFIS	<p>La proposta riguarda diverse possibili attività, che si decideranno con i singoli studenti in base alle loro attitudini e alla disponibilità:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. • 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. • 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. <p>Lo studente sarà coinvolto in progetti altamente innovativi e di grande attrattiva per la fotonica e la biomedicina.</p>	dario.polli@polimi.it
16 – Risposta ottica ultraveloce di nanomateriali rivelata con tecniche spettroscopiche	S.Dal Conte C.Gadermaier	DFIS	<p>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.</p> <p>Lo studente apprenderà una o più delle seguenti tecniche sperimentali:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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.Paterno	DFIS	<p>La proposta riguarda due possibili attività:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparazione di materiali nanometrici (ad esempio nanoparticelle, aggregati) 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. • Fabbricazione e caratterizzazione di strutture fotoniche. I cristalli fotonici presentano una periodicità dell'indice di rifrazione con dimensioni comparabili con la lunghezza d'onda della luce. In tali cristalli fotoni in un certo intervallo di energia, detta zona proibita fotonica, vengono riflessi, in analogia con la zona proibita elettronica per gli elettroni nei semiconduttori. In questa attività, si fabbricheranno e caratterizzeranno otticamente cristalli fotonici monodimensionali da dispersioni colloidali di nanoparticelle dielettriche (ad. ossidi di silicio e titanio) tramite tecniche di deposizione zonale. I cristalli verranno drogati con metalli plasmonici bio-responsivi, come oro ed argento, per testare la loro capacità di rivelare la presenza di analiti biologici patogeni, come batteri e virus. 	giuseppemaria.paterno@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
21 – Sintesi di impulsi ottici a larghissima banda e spettroscopia vibrazionale con pettini di frequenza elettro-ottici	M.Marangoni D.Gatti	LECCO	La spettroscopia di assorbimento vibrazionale basata su doppio pettine di frequenze ottiche è un approccio estremamente potente per la rivelazione quantitativa e con elevata selettività chimica di specie molecolari in fase gassosa, di interesse in ambiti quali il monitoraggio ambientale, l'analisi dell'esperto umano e la sicurezza di processo industriale. Le due attività di ricerca proposte si inseriscono in questo filone, pur se con diversi obiettivi e livelli di avanzamento rispetto all'applicazione finale: <ul style="list-style-type: none"> Sviluppo di una sorgente a pettine di frequenza di amplissima banda ottica nella regione del medio infrarosso, da 6 a 10 μm, mediante generazione di frequenza differenza: l'attività ha un taglio sia numerico che sperimentale nell'ambito dell'ottica non lineare ultra-veloce e costituisce un primo passo per la realizzazione di uno spettrometro a doppio pettine operante con elevata selettività e sensibilità chimica su molteplici target molecolari; Sviluppo di uno spettrometro a doppio pettine operante nella regione del vicino infrarosso basato su pettini di frequenza generati per via elettro-ottica da modulatori e sintetizzatori di larghissima banda elettrica. L'attività prevede, oltre allo studio della tecnica spettroscopica, l'assemblaggio dello spettrometri, la programmazione di un generatore di forma d'onda arbitraria per la sintesi dei pettini, l'acquisizione di interferogrammi, la determinazione di spettri di assorbimento di un campione di acetilene ed il confronto con i spettroscopici dati presenti in database quali HITRAN. 	marco.marangoni@polimi.it davide1.gatti@polimi.it
22 – Studio teorico e modellistico di processi quanto-meccanici ed elettromagnetici	G.Della Valle Posti disponibili: 2	DFIS	Il laboratorio modellistico riguarda lo studio teorico e la simulazione numerica di semplici problemi di meccanica quantistica e ottica/elettromagnetismo. Alcuni esempi includono: <ul style="list-style-type: none"> diffrazione di pacchetti d'onda; propagazione di fasci di Airy; Equazione di Schrödinger non-lineare; E' richiesta la conoscenza di programmazione Matlab e di elementi di calcolo numerico.	giuseppe.dellavalle@polimi.it
23 – 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 (CO_2 , 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: <ul style="list-style-type: none"> stabilizzazione del pettine di frequenza e suo impiego per la spettroscopia e spettrometria a larghissima banda e in tempo reale; progettazione di un sistema di spettrometria in tempo reale di tipo "dual-comb" basato su una coppia di pettini di frequenze sincronizzati tra loro: verranno discusse le possibili implementazioni della tecnica proposta in sistemi di imaging iperspettrale come OCT (optical coherence tomography) e LIDAR (Laser imaging, detection and ranging); 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
24 – Tecniche di fabbricazione di circuiti ottici integrati	A.Crespi	DFIS	I circuiti interferometrici in guida d'onda consentono di manipolare ed elaborare segnali ottici con grande versatilità, per applicazioni che spaziano dalle telecomunicazioni all'elaborazione dell'informazione classica e quantistica. Il controllo dello stato di polarizzazione, della distribuzione spaziale di intensità e della fase ottica sono fondamentali per ottenere le condizioni di interferenza desiderate. Basandosi sulla tecnologia di micro-fabbricazione tramite laser a femtosecondi, in questo laboratorio progettuale si studieranno: <ul style="list-style-type: none"> metodi per ingegnerizzare la sezione trasversale della guida d'onda, per il controllo dei modi spaziali e/o di polarizzazione; metodi per il controllo attivo o passivo della fase ottica. 	andrea.crespi@polimi.it
25 – Componenti ottici integrati fabbricati mediante laser a femtosecondi	A.Crespi	DFIS	<ul style="list-style-type: none"> Numerose applicazioni di bio-sensoristica e microscopia possono trarre vantaggio dall'integrazione su chip di dispositivi ottici miniaturizzati. L'attività proposta si concentra sulla fabbricazione mediante laser a femtosecondi, e conseguente caratterizzazione, di componenti micro-ottici o in guida d'onda, su substrato vetroso. Lo studente avrà modo di prendere confidenza sia con l'apparato sperimentale di micro-fabbricazione laser sia con tecniche ottiche avanzate di caratterizzazione morfologica e funzionale. 	andrea.crespi@polimi.it
26 – Realizzazione di un oscillatore parametrico a 2 micron in singola frequenza con potenza > 1 W	N.oluccelli G.Galzerano	DFIS	Nell'ambito di questo laboratorio progettuale sarà realizzata una sorgente laser tipo oscillatore parametrico operante in singola frequenza nell'intorno di 2 micron con potenza di uscita > 1 W. Di seguito le fasi di sviluppo di questo progetto: <ul style="list-style-type: none"> caratterizzazione potenza ingresso-uscita (signal/idler); caratteristica di accordabilità (signal/idler); caratterizzazione rumore di intensità e frequenza (misura di larghezza di riga ottica)	nicola.coluccelli@polimi.it gianluca.galzerano@polimi.it
27 – Realizzazione di una sorgente laser a stato solido a 2.7 micron in singola frequenza con potenza > 50 mW	D.Giannotti G.Galzerano		Nell'ambito di questo laboratorio progettuale sarà realizzata una sorgente laser a stato solido a 2.7 micron operante in singola frequenza e accordabile in frequenza con potenza di uscita > 50 mW. Di seguito le fasi di sviluppo di questo progetto: <ul style="list-style-type: none"> realizzazione del risonatore laser costituito da una cavità lineare e da un cristallo di Cr:ZnSe e del relativo sistema di pompaggio ottico basato su un laser Er a 1.57 micron; implementazione di metodi di selezione spettrale basati su reticoli di diffrazione e etalon intracavità; caratterizzazione della sorgente laser in termini di selezione del singolo modo longitudinale, accordabilità fine della frequenza di emissione e rumore di intensità. 	dario.giannotti@polimi.it gianluca.galzerano@polimi.it

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: <ul style="list-style-type: none"> 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 – Monitoraggio non invasivo del metabolismo tissutale	C. Amendola	DFIS	Nel laboratorio verranno utilizzate le tecniche di spettroscopia nel vicino infrarosso risolta nel tempo (time domain near infrared spectroscopy, TD NIRS) e spettroscopia di correlazione diffusa (diffuse correlation spectroscopy, DCS) per la misura non invasiva dell'ossigenazione e della perfusione tissutale e la stima del metabolismo ossidativo per applicazioni biomediche e sportive. L'attività del laboratorio (svolta in modo autonomo dagli studenti dopo opportuna formazione) comprende: <ul style="list-style-type: none"> modellistica della propagazione della luce in materiali diffusivi; misure su fantocci calibrati per la valutazione delle prestazioni dei sistemi TD NIRS e DCS; misure in vivo (es. sui muscoli di volontari) per la stima dei parametri fisiologici in condizioni di riposo e durante esercizi; analisi e discussione dei dati. 	caterina.amendola@polimi.it
33 – Neurofotonica	D. Contini	DFIS	Nel laboratorio lo studente affronta le problematiche relative a: <ul style="list-style-type: none"> modellistica fisica della propagazione di fotoni in strutture otticamente diffondenti ed eterogenee (es. la testa dell'uomo); misura delle perturbazioni indotte dalla variazione delle proprietà ottiche delle varie regioni del mezzo attraversato utilizzando sistemi modello (fantocci calibrati); applicazione a misure <i>in vivo</i> durante protocolli di stimolazione cerebrale (es. stimoli cognitivi, motori). 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 – Spettroscopia diffusa tempo-risolta per monitoraggio ambientale	A. Pifferi	DFIS	Il laboratorio è basato su una strumentazione originale sviluppata in Dipartimento per spettroscopia di mezzi fortemente diffondenti tramite tecniche di riflettanza diffusa risolta nel tempo a singolo fotone su ampia banda spettrale (600-1100 nm). La prospettiva di lungo periodo è il monitoraggio del manto nevoso / ghiacciai per valutare la frazione di radiazione solare assorbita in funzione della microstruttura e delle impurezze presenti del mezzo. Come attività preliminare verranno studiati in laboratorio materiali facilmente reperibili per un primo studio di fattibilità. Nello specifico, le attività previste sono: <ul style="list-style-type: none"> Training sulla strumentazione per spettroscopia risolta nel tempo a singolo fotone basata su generazione di supercontinuo; Analisi delle curve di distribuzione di tempo di arrivo dei fotoni con modelli di photon migration; Analisi della problematica relativa allo scioglimento dei ghiacciai e comprensione delle cause fisiche relative alle proprietà ottiche del mezzo; Individuazione di opportuni campioni da misurare in laboratorio; Misure sperimentali su campioni e relativa analisi; Possibili inferenze su un modello a scala reale. 	antonio.pifferi@polimi.it
35 - Microscopia super-risolta con luce strutturata per studi di biologia molecolare	P. Pozzi A. Candeo	DFIS	Durante l'esperienza di laboratorio si utilizzeranno innovative tecniche di microscopia TIRF (Total Internal Reflection Fluorescence), una tecnica basata sulla eccitazione della fluorescenza di un campione tramite onde evanescenti per l'osservazione di dettagli nanoscopici in prossimità della superficie del vetrino. Lo strumento verrà utilizzato per lo studio di campioni di biologia con l'obiettivo di visualizzare strutture subcellulari. Lo studente acquisirà familiarità con la tecnica, comprendendo il funzionamento della tecnica di microscopia TIRF, costruendo un sistema di accoppiamento tra laser e microscopio e studiando l'influenza dei parametri di costruzione nell'ottenimento di immagini con dettagli nanoscopici. Il sistema verrà caratterizzato e ottimizzato dallo studente, che raccoglierà immagini e le analizzerà per confrontare i miglioramenti dell'approccio TIRF rispetto alla microscopia tradizionale di fluorescenza.	paolo.pozzi@polimi.it alessia.candeo@polimi.it
36 – Imaging iperspettrale	D. Comelli G. Valentini C. Manzoni (CNR-IFN)	DFIS	Il laboratorio sarà basato sull'utilizzo di una strumentazione originale sviluppata in Dipartimento per la realizzazione di esperimenti di imaging iperspettrale a trasformata di Fourier: nello specifico l'interferometro TWINS (Translating-Wedge-Based Identical Pulses eNcoding System) sarà accoppiato a diversi sensori per immagini e a differenti sistemi ottici per la realizzazione di esperimenti di imaging iperspettrale di riflettanza, fluorescenza e Raman su campi di vista di dimensioni differenti (dal large field of view alla microscopia). Nello specifico lo studente: <ul style="list-style-type: none"> Imparerà a conoscere la strumentazione di imaging iperspettrale a trasformata di Fourier; Studierà la configurazione ottica utilizzata per la raccolta delle immagini; Effettuerà misure su campioni di interesse ed analizzerà i dati con tecniche di analisi basate su uno specifico modello fisico e/o derivate dall'analisi statistica multivariata. 	daniela.comelli@polimi.it gianluca.valentini@polimi.it cristian.manzoni@polimi.it
37 - Spettroscopia ottica diffusa per la diagnostica della condizione polmonare	P. Taroni	DFIS	La spettroscopia ottica diffusa nel dominio del tempo (TD-DOS) può avere interessanti applicazioni per la diagnostica in vivo. Nel laboratorio, utilizzando uno strumento portatile sviluppato dal Dipartimento di Fisica per TD-DOS su ampia banda spettrale e semplici sistemi modello che simulano dal punto di vista ottico il polmone e i tessuti sovrastanti, verranno studiate la possibilità di una diagnostica ottica non invasiva della condizione polmonare e le condizioni sperimentali migliori per ottenerla. Il laboratorio comprenderà: <ul style="list-style-type: none"> Introduzione alla tecnica e alla strumentazione TD-DOS Misure su sistemi modello e in vivo Analisi dei dati Discussione dei risultati nella prospettiva dell'applicazione considerata. 	paola.taroni@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
41 – 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
42 – Nanostrutturazione e caratterizzazione di materiali magnetici e quantistici	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 (t-SPL) o tramite nanostrutturazione laser, 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 sull'utilizzo della tecnica t-SPL o nanostrutturazione laser ad uno dei sistemi sopracitati per il controllo delle proprietà magnetiche/di trasporto alla nanoscala. La caratterizzazione delle proprietà delle nano/microstrutture verrà realizzata con microscopia a forza atomica, microscopia a forza magnetica o microscopia Kerr.	edoardo.albisetti@polimi.it daniela.petti@polimi.it
43 – Proprietà di sistemi multiferroici 2D	C. Rinaldi M. Cantoni	Polifab	Il consumo energetico del settore ICT (Information and Communication Technology) è destinato a salire in modo esponenziale, ad un andamento insostenibile rispetto al fabbisogno energetico globale. Negli ultimi anni, Intel ha sottolineato l'enorme salto in avanti 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). Particolare attenzione è rivolta ai materiali ferroelettrici, come $Hf_{1-x}Zr_xO_2$ (HZO), che possono essere realizzati su Silicio, e quindi sono compatibili con la tecnologia CMOS. Il laboratorio di Spintronica, situato a PoliFab, si focalizza sullo studio di dispositivi elettronici basati sul trasporto di spin e controllati mediante materiali ferroelettrici. Nell'esperienza progettuale verrà affrontata, per mezzo di tecniche elettriche (PUND) e magnetiche (effetto Kerr magneto-ottico), la misura dei parametri fondamentali (ciclo di isteresi ferroelettrica P-E ferromagnetica M-H) di eterostrutture Co/HZO, andando anche ad investigare la presenza di effetti magnetoelastici, quali il controllo elettrico della magnetizzazione (relazione E-M).	christian.rinaldi@polimi.it matteo.cantoni@polimi.it
44- Caratterizzazione di film sottili per applicazioni fotovoltaiche e green	A. Cattoni F. Maspero M. Badillo	PoliFab	Attività 1 (2 posti, ref. A. Cattoni): Caratterizzazione di film sottili di $Sn_{1-x}Sr_xO$ per applicazioni fotovoltaiche - Il successo delle celle solari a base di perovskiti di tri-alogenuro di piombo ha stimolato la ricerca di materiali che presentino un'analogia tolleranza ai difetti, ma composti da elementi abbondanti e non tossici come il piombo. Il monossido di stagno (SnO) ha recentemente attirato l'interesse della comunità come potenziale candidato per la realizzazione di celle solari a base di ossidi grazie alla sua buona tolleranza ai difetti, l'elevata mobilità dei portatori e i buoni tempi di vita dei portatori minoritari. A PoliFab stiamo sintetizzando delle leghe di $Sn_{1-x}Sr_xO$ per Pulsed Layer Deposition (PLD): variando la stechiometria della lega è possibile variare la banda proibita del materiale per adattarla ad applicazioni fotovoltaiche (singola giunzione o multi-giunzione per Tandem su silicio). L'attività di questo laboratorio didattico prevede la caratterizzazione di questi film dal punto di vista chimico (EDX), strutturale (XRD), e ottico (ellissometria e riflettometria) in modo da poter correlare le condizioni di crescita e la composizione stechiometrica alle proprietà strutturali e optoelettroniche di questo nuovo materiale e come prerogativa per la successiva fabbricazione di celle solari a base di ossidi. Attività 2 (2 posti, ref. F. Maspero, M. Badillo): Caratterizzazione di film sottili di materiali piezoelettrici green - In questo laboratorio si studiano e si caratterizzeranno elettricamente film di materiali piezoelettrici/ferroelettrici con spessori micrometrici per applicazioni di microelettronica. Le misure elettriche consistono nell'estrarre i parametri principali di film piezo/ferroelettrici tramite misure elettriche in regime statico e dinamico. Lo studente imparerà ad usare strumenti di caratterizzazione elettrica come analizzatore di impedenza, ferro-tester e lock-in amplifier per l'estrazione dei parametri elettrici principali del materiale. I materiali piezoelettrici sono fondamentali per diverse applicazioni in microelettronica, come i Piezoelectric micromachined ultrasonic transducer (PMUT) usati ad esempio nelle sonde per ecografia o microspeaker presenti in molti auricolari. Il materiale piezoelettrico più utilizzato attualmente è composto da piombo ($Pb(ZrTi_{1-x})O_3$), materiale altamente tossico, per questa ragione c'è un forte interesse a trovare materiali green alternativi al PZT. In questo laboratorio si studieranno alcuni dei possibili nuovi materiali e li si confronterà con le performance del PZT.	andrea.cattoni@polimi.it federico.maspero@polimi.it miguelangel.badillo@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 delle 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. 1. 2. Fabbricazione e caratterizzazione elettro-ottica di fotorelateri 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
46 – Fabbricazione di nanostrutture su semiconduttori e materiali 2D	R. Sordan M. Bollani L. Anzi	L-NESS Como	In questo laboratorio viene eseguito lo studio sperimentale di nanostrutture e nanodispositivi basati su semiconduttori tradizionali e su materiali bidimensionali. Le attività del laboratorio progettuale esisteranno in una parte sperimentale e una consecutiva analisi dei risultati ottenuti. In particolare, proponiamo due attività principali: 1. Fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi nanoelettronici basati su materiali 2D quali MoS ₂ , WSe ₂ e hBN. Si sfrutteranno le peculiarità di ogni materiale per un utilizzo specifico o ci si concentrerà sulla creazione di eterostrutture ottenute impilando layer consecutivi di materiali 2D. I dispositivi verranno fabbricati sfruttando tecniche come la litografia elettronica, la deposizione di contatti metallici e l'etching di materiale tramite l'ausilio di plasma. 2. Realizzazione di piattaforme fotoniche di silicio germanio tramite trattamenti termici in atmosfera controllata che sfruttano un'instabilità di dewetting per i film sottili a stato solido. Caratterizzazioni morfologiche con microscopia a forza atomica (AFM) e microscopia a scansione di elettroni (SEM) verranno effettuate al fine di studiare ed ottimizzare i processi termici. Le nanostrutture ottenute saranno utilizzate come piattaforme fotoniche per applicazioni sensoristiche nel campo dell'agrofood.	roman.sordan@polimi.it monica.bollani@ifn.cnr.it luca.anzi@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
51 – Superconduttori: proprietà di trasporto e magnetiche	A. Crepaldi R. Sant	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 (Tc) di un campione di YBCO o BSCCO. La Tc 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 Tc. Infine, viene osservato il fenomeno della levitazione magnetica dovuta all'effetto Meissner, con una determinazione semi-quantitativa dell'energia magnetica in gioco.	alberto.crepaldi@polimi.it roberto.sant@polimi.it
52 – Simulazione e ottimizzazione di dispositivi nanofotonici	P. Biagioni	DFIS	Il laboratorio ha carattere computazionale ma non richiede conoscenze pregresse di calcolo numerico né prevede attività avanzate di programmazione. L'obiettivo è piuttosto quello di utilizzare software commerciali allo stato dell'arte, caratterizzati da interfacce utente particolarmente intuitive, per ingegnerizzare dal punto di vista fisico l'interazione di nanostrutture con la radiazione elettromagnetica. Lo scopo generale è quello di ottimizzare specifiche funzionalità quali la concentrazione di campi intensi alla nanoscala o l'aumento di efficienza nell'assorbimento ed emissione di fotoni da parte di molecole o quantum dot. Le nanostrutture studiate agiscono come vere e proprie 'nano-antenne' per la luce e permettono così di controllare efficacemente il confinamento, la ricezione e l'emissione di radiazione oltre i limiti imposti dalla diffrazione.	paolo.biagioni@polimi.it
53 – Spettro-microscopia elettronica ultraveloce	A. Khursheed S.M.Pietralunga A.Tagliaferri	DFIS	Il laboratorio riguarda l'applicazione dei concetti di ottica a raggi alla propagazione di elettroni nei dispositivi fondamentali nelle applicazioni spettromicroscopia elettronica ultraveloce. 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 (Lorentz, 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
54 – 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); - eventuale 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. Lo studente si avvicinerà alle tecniche sopra descritte tramite training in laboratorio. Parteciperà all'acquisizione di dati e all'analisi delle misure sotto la supervisione di un docente del lab ma in modo autonomo.	alberto.calloni@polimi.it franco.ciccacci@polimi.it
55 – 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 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
56 – Nano-microscopia e spettroscopia di interfaccia solido-liquido	G.Bussetti R. Yivlialin	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. Lo studente si avvicinerà alle tecniche sopra descritte tramite training in laboratorio. Parteciperà all'acquisizione di dati e all'analisi delle misure sotto la supervisione di un docente del lab ma in modo autonomo.	gianlorenzo.bussetti@polimi.it rossella.yivlialin@polimi.it
57 – Analisi spettroscopica di risonanze ottiche in nanostrutture	M. Celebrano A. Zilli 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 attilio.zilli@polimi.it marco.finazzi@polimi.it
58 – Interazione dell'antimateria con materiale biologico	R. Ferragut P. Folegati	L-NESS Como	In questo laboratorio viene eseguito lo studio sperimentale di dispositivi nanoelettronici basati su materiali bidimensionali (es. grafene, MoS2, WSe2 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 caratterizzazione di dispositivi nanoelettronici basati su van der Waals stack di materiali bidimensionali, ad esempio, transistori bidimensionali nella tecnologia gate-all-around. 2. Fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi nanoelettronici basati su materiali bidimensionali cresciuti mediante deposizione chimica da fase vapore su grandi aree. 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. L'attività proposta riguarda lo studio e calcolo dell'interazione di particelle cariche d'antimateria (positroni e antiprotoni) con materiale biologico (cellule). Il risultato dell'interazione porterà, oltre ai fenomeni analoghi già presenti del caso di particelle (ionizzazione e irraggiamento) anche all'annichilazione, fenomeno collegato alla interazione materia-antimateria. Lo studio proposto è volto al calcolo della dose netta depositata sulle cellule in regimi di basso, medio e alto flusso di particelle d'antimateria impiantate. Lo schema teorico che si intende utilizzare parte dal modello di Bethe-Bloch per particelle cariche con le correzioni opportune che si dovranno considerare per includere l'effetto dell'annichilazione. È previsto un confronto dei calcoli effettuati in casi in cui siano già presenti dati sperimentali.	rafael.ferragut@polimi.it