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 e della polarizzazione 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 e dispositivi per la fotonica	G.Lanzani F.Scotognella	DFIS	<p>La proposta riguarda due 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. 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. 	guglielmo.lanzani@polimi.it francesco.scotognella@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.Paternò	DFIS	<p>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:</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. Inoltre, si valuteranno eventuali effetti di foto-stimolazione cellulare, per possibili applicazioni nella terapia fotodinamica. 	giuseppemaria.paterno@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
21 – Spettroscopia e microscopia ottica vibrazionale nella regione del medio infrarosso	M.Marangoni D.Gatti	LECCO	La regione spettrale del medio infrarosso (mid-IR) da 3 a 12 μm è ideale per la rivelazione spettroscopica di specie molecolari con elevata sensibilità e selettività chimica. Nel laboratorio progettuale gli studenti potranno scegliere di lavorare su una delle due seguenti attività sperimentali nell'ambito della spettroscopia mid-IR: <ul style="list-style-type: none"> spettroscopia di tipo "dual-comb" di molecole in fase gassosa con elevata velocità di acquisizione per lo studio di cinetiche chimiche in processi di combustione. L'attività prevede, oltre allo studio della tecnica spettroscopica, l'utilizzo di una sorgente a doppio pettine di frequenze basata su generazione di frequenza differenza, l'acquisizione di interferogrammi, la determinazione di spettri di assorbimento, il confronto con dati presenti in database spettroscopici (HITRAN, GEISA,..) progetto e caratterizzazione di una sorgente a femtosecondi (6-10 μm) per applicazioni di microscopia foto-termica wide-field finalizzata al riconoscimento di cellule tumorali in campioni biologici. L'attività si concentrerà sulla simulazione dei processi non lineari, sia in bulk che in fibra a cristallo fotonico, e sulla caratterizzazione della sorgente in termini di potenza ottica, banda spettrale e accordabilità. 	marco.marangoni@polimi.it davide.gatti@polimi.it
22 – Studio teorico e modellistico di processi quantomeccanici 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 nonlineare; 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.	alesio.gambetta@polimi.it
24 – Tecniche di fabbricazione di circuiti ottici riconfigurabili	A.Crespi	DFIS	I circuiti interferometrici 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. Il controllo dello stato di polarizzazione e della fase ottica sono fondamentali per ottenere le condizioni di interferenza desiderate e con adeguata visibilità. Questo laboratorio progettuale si concentrerà su tecniche innovative per: <ul style="list-style-type: none"> la fabbricazione guide d'onda a birifrangenza controllata, tramite scrittura diretta con laser a femtosecondi; il controllo attivo della fase interferometrica tramite modulatori di fase termoottici. 	andrea.crespi@polimi.it
25 – Componenti ottici integrati fabbricati mediante laser a femtosecondi	P.Paié	DFIS	L'attività proposta si concentra sulla fabbricazione, mediante laser a femtosecondi e conseguente caratterizzazione di componenti ottici integrati. 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: <ul style="list-style-type: none"> fabbricazione di componenti fotonici integrati; - caratterizzazione morfologica e funzionale degli stessi. 	petra.paie@polimi.it
26 – Realizzazione di una sorgente laser in fibra a 1.56 micron in singola frequenza con potenza > 10 W	N.oluccelli G.Galzerano	DFIS	Nell'ambito di questo laboratorio progettuale sarà realizzata una sorgente laser in fibra a 1.56 micron operante in singola frequenza con potenza di uscita > 10 W. Di seguito le fasi di sviluppo di questo progetto: <ul style="list-style-type: none"> realizzazione di un <i>seed</i> a semiconduttore a 1.56 micron (potenza di uscita 2-3 mW, singola frequenza, basso rumore); realizzazione di un preamplificatore ad erbio in fibra a 1.56 micron (potenza di uscita > 100 mW); realizzazione di un amplificatore di potenza (potenza di uscita > 10 W); caratterizzazione del rumore di intensità e frequenza della sorgente laser realizzata.	nicola.coluccelli@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– Spettroscopia ottica diffusa nel dominio del tempo	L.Spinelli A.Torricelli	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. Gli studenti verranno messi in grado di gestire autonomamente la strumentazione e le tecniche di analisi. Sotta la guida del docente, ogni studente potrà individuare un materiale di interesse (es. tessuti biologici, plastiche, materiali ceramici,..) che verrà caratterizzato e discusso criticamente. Attività previste: <ul style="list-style-type: none"> • definizione della problematica; • utilizzo di strumentazione per spettroscopia risolta nel tempo a singolo fotone basata su generazione di supercontinuo; • misura di campioni solidi di riferimento; • caratterizzazione del materiale individuato; • modellazione fisica ed analisi dei dati con metodo Monte Carlo e Teoria della Diffusione. 	lorenzo.spinelli@polimi.it alessandro.torricelli@polimi.it
33 – Neurofotonica	R.Re	DFIS	Nel laboratorio Neurofotonica 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 quali la testa e il muscolo 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> (es. su muscolo e testa) durante protocolli di esercizi muscolari (studio della fatica neuromuscolare) o 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).	rebecca.re@polimi.it
34 – Nuove frontiere per la spettroscopia ottica diffusa	L.Di Sieno A.Dalla Mora	DFIS	Il laboratorio si concentra sull'applicazione di tecnologie ed approcci innovativi nell'ambito dell'ottica diffusa risolta nel tempo per applicazioni biomedicali, andandosi ad inserire nel filone di ricerca del laboratorio "Gated Photon Counting" (GAP) del Dipartimento di Fisica. Nel laboratorio "Nuove frontiere per la spettroscopia ottica diffusa" lo studente apprenderà le innovative tecniche di photon counting utilizzando, ad esempio, fotorivelatori a larga area eventualmente operati in regime ultraveloce e/o ad elevatissimi tassi di conteggio per la rivelazione di segnali profondi o di dinamiche molto veloci (quali, ad esempio, attivazione cerebrale o il battito cardiaco, rispettivamente). Gli studenti, dopo una fase di inquadramento del problema, applicheranno le tecniche sopraelencate per misure su fantoccio (simulante le proprietà ottiche dei tessuti biologici) ed, eventualmente, con misure <i>in-vivo</i> (es. su muscolo su volontari sani). 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 super-risolta con luce strutturata per studi di biologia molecolare	A.Bassi A.Candeo	DFIS	Durante l'esperienza di laboratorio si utilizzeranno innovative tecniche microscopia di fluorescenza super-risolta basata su luce strutturata (structured illumination microscopy, SIM). 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 SIM, costruendo un sistema di accoppiamento tra laser e microscopio. Il sistema verrà caratterizzato e ottimizzato dallo studente, che inoltre raccoglierà i dati necessari per studiare i campioni molecolari di interesse. Lo studente raccoglierà immagini e le ricostruirà tramite uno script ottimizzato dallo stesso. Infine, analizzerà i dati allo scopo di determinare correlazione con specifiche domande biologiche.	andrea1.bassi@polimi.it alessia.candeo@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
41 – Caratterizzazione di materiali funzionali per applicazioni MEMS	F.Maspero R.Bertacco A.Cattoni M.Badillo	Polifab	I dispositivi micro-elettromeccanici (MEMS) costituiscono la maggior parte dei sensori presenti nei nostri dispositivi mobili. La tecnologia MEMS da anni integra nuovi materiali per estere le sue potenzialità e creare nuovi attuatori e sensori (microspeakers, micro-speakers, sensori di campo magnetico, etc..). Inoltre lo sviluppo di questi materiali è fondamentale per ridurre il grado di tossicità (sostituire composti a base di piombo) e migliorarne le prestazioni. Nel laboratorio sono proposte due attività possibili. La prima attività consiste nella caratterizzazione di film magnetici depositati per sputtering per la fabbricazione di magneti permanenti alla scala MEMS (leghe di Samario-Cobalto, SmCo). Gli studenti si occuperanno di analizzare i dati di diffrazione a raggi-x provenienti da diversi processi di fabbricazione e di misurare le proprietà magnetiche tramite magnetometria (Vibrating Sample Magnetometer), al fine di individuare le caratteristiche di deposizione migliore per i film di SmCo. Come seconda attività, nel laboratorio si svilupperà un protocollo di caratterizzazione di film piezoelettrici senza piombo, come niobato di sodio potassio (KNN) e ossido di afnio (HfOx). Il protocollo consisterà nel misurare le proprietà (costante dielettrica, leakage, ciclo ferroelettrico e coefficienti piezoelettrici) di film cresciuti e processati con tecniche differenti, al fine di guidarne l'ottimizzazione.	federico.maspero@polimi.it riccardo.bertacco@polimi.it andrea.cattoni@polimi.it miguelangel.badillo@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 – 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 – Laboratorio di Microscopia a Scansione a Effetto Tunnel (STM)	A.Brambilla A.Picone	DFIS	Nell'esperienza progettuale lo studente affronta le seguenti tematiche: <ul style="list-style-type: none"> 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). Il laboratorio si svolgerà in presenza nell'arco di due settimane consecutive. La tematica specifica delle diverse analisi e approfondimenti sarà concordata con ciascuno studente.	alberto.brambilla@polimi.it andrea.picone@polimi.it
45 – Scienza e tecnologia dei materiali semiconduttori	G.Isella D.Chrastina J.Frigerio M.Bollani	L-Ness Como	1. Misure di diffrazione di raggi X. In questo laboratorio verranno realizzate delle 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 elettronica (SEM) verranno effettuate al fine di studiare ed ottimizzare i processi termici.ione 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 fotorelavoratori 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. 3. In questo laboratorio verranno realizzate delle 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 elettronica (SEM) verranno effettuate al fine di studiare ed ottimizzare i processi termici.	daniel.chrastina@polimi.it giovanni.isella@polimi.it jacopo.frigerio@polimi.it monica.bollani@ifn.cnr.it
46 – Nanostrutture in grafene e relativi materiali bidimensionali	R.Sordan Posti disponibili: 2	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: <ol style="list-style-type: none"> Fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi nanoelettronici basati su van der Waals stack di materiali bidimensionali, ad esempio, transistori bidimensionali nella tecnologia gate-all-around. 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.	roman.sordan@polimi.it

Laboratorio	Responsabili	Sede	Descrizione	E-mail
51 – Superconduttori: proprietà di trasporto e magnetiche	C.Dallera A.Crepaldi	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 alberto.crepaldi@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 – Il moto browniano	E.Puppini	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.puppini@polimi.it
54 – Spettromicroscopia 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
55 – Interazione dell'antimateria con materiale biologico	R.Ferragut P.Folegati Posti disponibili: 2	L-NESS Como	In questo laboratorio viene eseguito lo studio sperimentale di dispositivi nanoelettronici basati su materiali bidimensionali (es. grafene, MoS ₂ , WSe ₂ 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