



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Modern Optics

2627-2-E3004Q014

Obiettivi

L'insegnamento contribuisce in modo coerente al percorso formativo del Corso di laurea attraverso i seguenti obiettivi di apprendimento:

Conoscenza, comprensione e capacità di applicare conoscenza e comprensione (Descrittori di Dublino 1 e 2)

Gli studenti acquisiranno una comprensione organica dei principi fisici dell'ottica ondulatoria, del funzionamento dei laser, della fotonica guidata e integrata, dei processi ottici non lineari e degli elementi fondamentali dell'ottica quantistica. Impareranno a utilizzare modelli elettromagnetici e quantistici semplificati per analizzare componenti e sistemi ottici, tra cui interferometri, risonatori, guide d'onda, fibre ottiche, modulatori, convertitori non lineari di frequenza e sorgenti di fotoni correlati. Saranno in grado di collegare tali modelli ad applicazioni nelle comunicazioni ottiche, nella sensoristica, nella spettroscopia, nell'elaborazione fotonica dell'informazione, nelle tecnologie fotoniche ad alta efficienza energetica e nelle tecnologie quantistiche.

Autonomia di giudizio (Descrittore di Dublino 3)

Gli studenti impareranno a individuare i meccanismi fisici essenziali coinvolti in un problema ottico, a scegliere un livello di modellizzazione appropriato, a valutare la validità delle approssimazioni adottate e a confrontare criticamente soluzioni alternative e compromessi tecnologici.

Abilità comunicative (Descrittore di Dublino 4)

Gli studenti svilupperanno la capacità di illustrare fenomeni ottici e di presentare in modo chiaro e rigoroso, in lingua inglese, l'analisi di un componente o sistema ottico, utilizzando una terminologia scientifica appropriata e un corretto ragionamento quantitativo.

Capacità di apprendimento (Descrittore di Dublino 5)

Gli studenti svilupperanno la capacità di aggiornare autonomamente le proprie conoscenze, consultare testi avanzati e letteratura scientifica ed estendere i concetti e i metodi acquisiti durante il corso a tecnologie fotoniche emergenti e a problemi ottici non precedentemente affrontati.

Contenuti sintetici

L'insegnamento introduce i principi fisici e gli strumenti di base della fotonica moderna. A partire dalle conoscenze

acquisite nei precedenti insegnamenti di elettromagnetismo e fisica quantistica, sviluppa una comprensione pratica dell'ottica ondulatoria, delle sorgenti laser, della fotonica guidata e integrata, della conversione non lineare di frequenza e di alcuni argomenti selezionati di ottica quantistica. Particolare attenzione è dedicata al collegamento tra modelli fisici semplificati e componenti e sistemi reali per le comunicazioni, la sensoristica, la spettroscopia e le tecnologie fotoniche emergenti.

Programma esteso

Modulo 1: Teoria elettromagnetica e ottica ondulatoria

- Breve richiamo della propagazione delle onde elettromagnetiche nei mezzi dielettrici, rappresentazione complessa dei campi ed equazione di Helmholtz.
- Polarizzazione della luce, calcolo di Jones, birifrangenza, lamine d'onda e polarizzatori.
- Riflessione e rifrazione alle interfacce dielettriche, coefficienti di Fresnel e angolo di Brewster.
- Interferenza e coerenza: interferometri di Michelson e Mach-Zehnder, visibilità delle frange e differenza di cammino ottico.
- Diffrazione di Fraunhofer e Fresnel, reticoli di diffrazione e introduzione all'ottica di Fourier.
- Lenti, ottica geometrica e sistemi di formazione dell'immagine; introduzione alla dispersione e alla risposta ottica lineare dei materiali.

Modulo 2: Laser, fasci gaussiani e dispositivi fotonici

- Emissione spontanea e stimolata, coefficienti di Einstein e inversione di popolazione.
- Guadagno ottico, soglia laser, modi del risonatore e funzionamento di base del laser.
- Propagazione dei fasci gaussiani: waist del fascio, divergenza, intervallo di Rayleigh, focalizzazione e collimazione.
- Cavità ottiche, adattamento modale e dispositivi fotonici basati su risonatori.
- Ottica guidata: guide d'onda dielettriche, fibre ottiche, accoppiamento, dispersione e perdite di propagazione di base.
- Introduzione alla fotonica integrata: accoppiatori direzionali, interferometri di Mach-Zehnder e risonatori ad anello.

Modulo 3: Ottica non lineare e applicazioni

- Polarizzazione non lineare e conversione di frequenza in cristalli massivi, fibre ottiche e guide d'onda integrate.
- Generazione armonica, generazione per somma di frequenza e generazione per differenza di frequenza.
- Processi ottici parametrici: amplificazione e oscillazione parametrica ottica.
- Adattamento di fase, quasi-adattamento di fase e potenziamento risonante, con applicazioni a sorgenti accordabili e conversione di lunghezza d'onda.
- Modulazione ottica: effetti elettro-ottici e acusto-ottici; modulazione di ampiezza, fase e frequenza per le comunicazioni e il controllo dei laser.
- Elementi di ottica ultraveloce: dispersione della velocità di gruppo, non linearità di Kerr, impulsi ultracorti e mode locking.
- Concetti di solitone nelle fibre e nei risonatori; applicazioni a pettini di frequenza, spettroscopia, sensoristica e comunicazioni ottiche.

Modulo 4: Ottica quantistica e argomenti avanzati

- Statistica dei fotoni, coerenza del secondo ordine e funzioni di correlazione del secondo ordine.
- Esperimento di Hanbury Brown-Twiss, correlazioni fotoniche, misure di coincidenza, bunching e antibunching dei fotoni.
- Introduzione all'interferenza a due fotoni e all'effetto Hong-Ou-Mandel.
- Conversione parametrica spontanea verso il basso (SPDC) come sorgente di coppie di fotoni correlati e di luce non classica.

Prerequisiti

Conoscenze di base di analisi matematica, numeri complessi e algebra lineare. Gli studenti devono avere familiarità con l'elettromagnetismo elementare e la fisica delle onde, comprese le onde armoniche, l'interferenza e le condizioni al contorno, nonché con gli elementi introduttivi della meccanica quantistica, inclusi stati quantistici, osservabili e misure.

Modalità didattica

L'insegnamento comprende 48 ore di attività didattica, organizzate come segue:

- 32 ore di lezioni online asincrone, erogate mediante 16 lezioni registrate della durata di 2 ore ciascuna, in modalità di Didattica Erogativa (DE) da remoto.
- 16 ore di Didattica Interattiva (DI) in presenza, costituite da attività guidate di problem solving, esercizi quantitativi, analisi di sistemi ottici e discussione delle applicazioni.

Materiale didattico

- Testo principale: B. E. A. Saleh e M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, 3a ed., Wiley, 2019.
- Testo aggiuntivo: M. Born e E. Wolf, *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light*, 7a edizione ampliata, Cambridge University Press, 1999.
- Riferimento selezionato per l'ottica non lineare: R. W. Boyd, *Nonlinear Optics*, 4a ed., Academic Press, 2020.
- Riferimento selezionato per l'ottica quantistica: M. Fox, *Quantum Optics: An Introduction*, Oxford University Press, 2006.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Non sono previste prove in itinere. La prova finale consiste in un esame orale individuale svolto in lingua inglese. L'esame comprende la discussione dei principali argomenti del corso e la risoluzione di un semplice problema quantitativo oppure l'analisi di un sistema ottico.

La valutazione considera la conoscenza e la comprensione dei principi fisici, la capacità di selezionare e applicare modelli fisici appropriati a problemi semplici, il ragionamento quantitativo, la valutazione critica delle ipotesi e delle approssimazioni e la chiarezza espositiva mediante un'adeguata terminologia scientifica.

Un punteggio inferiore a 18/30 indica una preparazione insufficiente e comporta il mancato superamento dell'esame. I voti compresi tra 18 e 23/30 corrispondono a una preparazione sufficiente, quelli tra 24 e 27/30 a una buona preparazione e quelli tra 28 e 30/30 a una preparazione eccellente. All'interno di ciascuna fascia, il voto tiene conto della capacità di analisi critica, del ragionamento e delle abilità comunicative. La lode può essere attribuita in caso di prova di livello eccezionale, caratterizzata da piena padronanza della materia, eccellente autonomia di ragionamento e comunicazione particolarmente chiara e rigorosa.

Orario di ricevimento

Su appuntamento.

Sustainable Development Goals

IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE
