



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## PHOTONICS LABORATORY

**FILIPPO GIANNETTI**

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| Academic year | 2020/21                               |
| Course        | INGEGNERIA DELLE<br>TELECOMUNICAZIONI |
| Code          | 1028I                                 |
| Credits       | 6                                     |

| Modules                 | Area       | Type    | Hours | Teacher(s)                            |
|-------------------------|------------|---------|-------|---------------------------------------|
| PHOTONICS<br>LABORATORY | ING-INF/03 | LEZIONI | 60    | ANTONELLA BOGONI<br>FILIPPO GIANNETTI |

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Alla fine del corso:

- Gli studenti avranno acquisito conoscenze sui principi fondamentali della fotonica e su dispositivi, apparati e sistemi e basati sulle tecnologie fotoniche.
- Gli studenti avranno acquisito conoscenza dei vincoli e delle sfide che caratterizzano la progettazione e il funzionamento di un sistema di comunicazione basato sulla fotonica.
- Gli studenti avranno acquisito conoscenze sulla propagazione in fibra ottica, sulla generazione e rivelazione di radiazione luminosa tramite dispositivi a semiconduttore, sulle tecniche di trasmissione dell'informazione basate sulla fotonica.
- Gli studenti avranno acquisito conoscenze sugli strumenti analitici e le metodologie per progettare un collegamento fotonico ed analizzarne le prestazioni.
- Gli studenti avranno acquisito conoscenze sugli strumenti di misura e le metodologie per effettuare misure su dispositivi, apparati e sistemi fotonici.
- Gli studenti avranno acquisito conoscenze sugli standard per le trasmissioni in fibra ottica.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

- I progressi accademici saranno monitorati e verificati durante la sessione di prova pratica finale.

#### *Capacità*

Alla fine del corso:

- Gli studenti sapranno come scegliere i componenti fotonici più adatti per un dato scenario applicativo.
- Gli studenti sapranno scegliere ed utilizzare la strumentazione di laboratorio per effettuare misure su dispositivi, apparati e componenti fotonici.
- Gli studenti sapranno impostare i valori numerici dei parametri per un collegamento di comunicazione in fibra ottica.
- Gli studenti saranno in grado di valutare numericamente le prestazioni di un collegamento di in fibra ottica.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

- Durante le esercitazioni verranno illustrate schede ed altra documentazione tecnica relativa a dispositivi ed apparati fotonici.
- Durante le esercitazioni verrà illustrato il funzionamento e l'utilizzo di strumenti di misura per applicazioni fotoniche.
- Durante le esercitazioni verranno svolte attività sperimentali per capire come progettare e analizzare con l'impiego di strumentazione un collegamento in fibra ottica.

#### *Comportamenti*

- Gli studenti acquisiranno e/o svilupperanno una consapevolezza delle sfide progettuali dovute a vincoli sia tecnologici che ambientali.
- Gli studenti saranno in grado di partecipare attivamente e con competenza alle discussioni tecniche in un team di progetto



### Modalità di verifica dei comportamenti

- Durante le esercitazioni verrà valutata l'accuratezza e la precisione delle attività svolte.
- Durante il lavoro di gruppo in laboratorio verranno valutate le modalità di assegnazione di responsabilità, gestione e organizzazione durante le fasi del progetto.

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- Fondamenti di trasmissioni digitali
- Fondamenti di elettronica dei semiconduttori
- Fondamenti di elettromagnetismo
- Fondamenti di ottica
- Fondamenti di reti di telecomunicazioni

### Corequisiti

Nessuno

### Prerequisiti per studi successivi

Nessuno

### Indicazioni metodologiche

- Modalità in cui si svolgono le lezioni: lezioni frontali con ausili visivi come powerpoint / video.
- Modalità di svolgimento degli esercizi: esercizi basati sulle schede tecniche dei dispositivi fotonici commerciali, con i personal computer degli studenti.
- Modalità di svolgimento delle esercitazioni di laboratorio: esercitazioni di laboratorio basate su dispositivi fotonici reali e strumentazione per la misurazione su dispositivi fotonici.
- Supporti didattici: siti web, schede tecniche di dispositivi, manuali di strumentazione, schede di laboratorio.
- Utilizzo del sito e-learning del corso: utilizzato per il download di materiali didattici e per la comunicazione tra docente e studenti.
- Tipo di interazione tra il docente e gli studenti: riunioni fisiche, e-mail, telefono, Teams, Skype.
- Lingua: Italian.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

#### Parte I - Caratterizzazione della propagazione in fibra ottica

Indice di rifrazione. Legge di Snell. Angolo critico. Struttura di una fibra ottica. Fibra multimodo Step Index (MM-SI). Dispersione modale e capacità di una fibra MM-SI. Fibra multimodo Graded Index (MM-GI). Dispersione modale e capacità di una fibra MM-GI. Determinazione della distribuzione del campo elettromagnetico in una fibra. Modi di propagazione. Perdite per piegamento. Costante di propagazione di una fibra SM. Lunghezza d'onda di cut-off. Mode field diameter. Fibre con profilo dell'indice di rifrazione a mantello depresso e a "W". Spettro di un segnale OOK. Materiale dispersivo. Indice di modo. Velocità di gruppo. Dispersione cromatica in fibra. Coefficiente di dispersione cromatica. Caratteristica di dispersione. Capacità di una fibra SM standard. Calcolo della banda di un segnale ottico. Fibre a dispersione traslata: DS e NZDS. Attenuazione in fibra ottica. Fenomeni non lineari in fibra ottica. Tecniche di fabbricazione di una fibra ottica: OVD, VAD, MCVD. Tipi di fibre ottiche e relativi connettori.

- Esercitazioni con documenti tecnici. Raccomandazioni ITU G.651 e G.652. Data-sheet di fibre ottiche commerciali.
- Attività di laboratorio. Strumenti per la misura di segnali ottici. Tecniche di splicing per le fibre ottiche. Tecniche di polishing per le fibre ottiche. Misure di attenuazione e riflessione (con OTDR) in fibra ottica. Fenomeni non-lineari in fibra. Four-wave mixing.

#### Parte II - Sorgenti luminose a semiconduttore

Interazione luce-materia: assorbimento, emissione spontanea, emissione stimolata. Semiconduttori a gap diretto ed indiretto. GaAs. Composti ternari e quaternari. Diodo emettitore di luce: LED. Potenza ottica immessa in fibra da una sorgente LED. Spettro di un LED. Banda di modulazione di un LED. Materiali con struttura energetica a 2, 3 e 4 livelli. Principio di funzionamento di un laser. Semiconduttori degeneri. Realizzazione pratica di una struttura a 4 livelli. Caratteristica luce-corrente (L-I) di un laser. Corrente di soglia. Effetti della temperatura sulla caratteristica L-I di un Laser. Rapporto di estinzione. Spettro di un laser FP. Eterogiunzioni ed eterostrutture. Confinamento elettrico. Confinamento ottico. Laser a eterostruttura sepolta (BH). Transitori in un laser: transitorio di potenza; transitorio di frequenza. Chirp. Laser a modulazione diretta e compensazione del chirp tramite fibre a dispersione negativa. Laser CW con modulatore esterno e fibra con dispersione positiva. Banda di modulazione di un laser. Laser monocromatici: DFB, DBR. Laser MQW. Emettitori VCSEL. Variazioni delle caratteristiche del laser con la temperatura. Package di un laser. Controllo della temperatura di un laser. Laser sintonizzabili: a cavità esterna, a due sezioni, a controllo di temperatura. Rumore nei laser. RIN, SNR. Rumore di fase.

- Esercitazioni con documenti tecnici. Data-sheet di laser commerciali.
- Attività di laboratorio. Misure su sorgenti Laser.

#### Parte III - Dispositivi per comunicazione in fibra ottica: fotorivelatori, modulatori, amplificatori ottici

Fotodiodo PIN. Responsivity. Corrente di buio. Fotodiodo APD. Rumore shot. Rapporto segnale-rumore. Front-end (F/E) di un ricevitore ottico e



## UNIVERSITÀ DI PISA

limitazioni di banda. F/E ad alta impedenza. F/E a trans-impedenza. Generazione di segnali ottici modulati OOK. Modulatori per laser: Mach-Zehnder, elettro-assorbimento (EA). Amplificatori ottici: SOA, EDFA.

- Esercitazioni con documenti tecnici. Data-sheet di: fotorivelatori, modulatori, amplificatori ottici.
- Attività di laboratorio. Misure su segnali modulati. Misure su EDFA.

### Parte IV - Sistemi di comunicazione in fibra ottica e valutazione delle prestazioni

Gerarchia SONET/SDH. Sistemi WDM: Coarse WDM, Dense WDM. Multiplicatori e demultiplicatori ottici. Filtro ottico Etalon. Probabilità di errore per un sistema di trasmissione a modulazione di intensità (IM) con modulazione OOK. Ricevitore a rivelazione diretta (DD) a conteggio di fotoni. Limite quantistico (QL). Sensibilità di un ricevitore ottico in condizioni ideali. Probabilità di errore per ricevitori reali. Sensibilità di ricevitori ottici reali. Q-Factor (QF).

- Esercitazioni con documenti tecnici. Data-sheet di apparati SONET/SDH, mux/demux WDM, filtri ottici.
- Attività di laboratorio. Trasmissione dati su fibra ottica. Modulazione OOK e rivelazione dei dati. Misure su segnali WDM.

### Bibliografia e materiale didattico

- Gerd Keiser, "Optical Fiber Communications", McGraw-Hill Education, 4th edition (September 10, 2010).
- Govind P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems", Wiley, 4th edition (October 19, 2010).
- Jeff Hecht, "Understanding Fiber Optics", Pearson College Div, 5th edition (April 26, 2005).
- Marco Luise, "Sistemi di trasmissione su fibra ottica", Edizioni ETS, Pisa, 1996 (in ITALIAN).
- Antonella Bogoni, Luca Potì, "Elementi di Comunicazioni Ottiche", Pitagora Editrice Bologna, 2003 (in ITALIAN).

### Indicazioni per non frequentanti

Nessuna indicazione particolare.

### Modalità d'esame

- The exam is made up of one practical test session.
- The oral test consists of an interview between the candidate and the lecturer.
- During the oral test the candidate must answer to some questions on the design criteria, performance analysis and technologies of space communications.
- During the oral test the candidate could be requested to also solve written problems/exercises in front of the lecturer.
- The average length of the interview is about 30 minutes.
- The number of professors is two.
- The oral test will be failed in any of the following cases:
  - the candidate shows an inability to express him/herself in a clear manner using the correct terminology
  - the candidate does not respond sufficiently to the questions regarding the basic concepts of communication theory and systems
  - the candidate repeatedly demonstrates an incapacity to relate and link parts of the programme with notions and ideas that they must combine in order to correctly respond to a question.

### Stage e tirocini

Nessuno

### Pagina web del corso

<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3ac104fd65d4fe4897b8fdde24c1dee5b1%40thread.tacv2/conversations?groupId=0893ef7c-6ff2-4a77-899e-bf44888f1cd5&tenantId=c7456b31-a220-47f5-be52-473828670aa1>

### Altri riferimenti web

Nessuno.

### Note

Nessuna.

Ultimo aggiornamento 28/02/2021 16:01