



## UNIVERSITÀ DI PISA DIGITAL COMMUNICATIONS

---

### ANTONIO ALBERTO D'AMICO

Anno accademico	2022/23
CdS	INGEGNERIA DELLE TELECOMUNICAZIONI
Codice	1013I
CFU	12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
INFORMATION THEORY	ING-INF/03	LEZIONI	60	ANTONIO ALBERTO D'AMICO
WIRELESS COMMUNICATIONS	ING-INF/03	LEZIONI	60	ANTONIO ALBERTO D'AMICO MICHELE MORELLI

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Il corso tratta delle principali tecniche per la trasmissione dell'informazione nei sistemi di comunicazione numerici. In particolare, il primo modulo si occupa dei concetti fondamentali della Teoria dell'Informazione relativi alla codifica di sorgente, alla capacità di canale e alle tecniche di codifica per la protezione dagli errori. Il secondo modulo affronta, invece, gli aspetti principali delle trasmissioni *wireless* e fornisce le conoscenze di base relative ai sistemi di modulazione numerici. Inoltre, una parte del corso è dedicata alla modellizzazione dei canali di trasmissione, ai loro effetti sulle prestazioni di un sistema di comunicazione e alle tecniche per contrastare tali effetti.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La verifica delle conoscenze sarà effettuata proponendo agli studenti degli esercizi relativi agli argomenti del corso. Inoltre, all'inizio di ogni lezione il docente farà un breve riepilogo dei concetti fondamentali visti nella lezione precedente coinvolgendo gli studenti con delle domande al riguardo.

##### *Capacità*

Al termine del corso lo studente avrà acquisito le conoscenze di base relative alla codifica e alla trasmissione dell'informazione, la capacità di comprendere i principi fondamentali alla base degli attuali (e futuri) *standard* utilizzati nei sistemi di comunicazione numerici, e sarà in grado di valutare come possano essere usate le risorse principali disponibili, quali potenza e banda.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

Le capacità acquisite dallo studente saranno verificate mediante esercizi che il docente assegnerà agli studenti. La correzione di tali esercizi avverrà in aula, in modo da fornire agli studenti gli strumenti per giudicare il loro livello di preparazione e sensibilizzarli a seguire il corso in maniera attiva.

##### *Comportamenti*

Gli studenti potranno acquisire e sviluppare rigore metodologico e scientifico, insieme alla capacità di analizzare criticamente le soluzioni dei problemi mettendo in evidenza i pro e i contro dei procedimenti adottati.

##### *Modalità di verifica dei comportamenti*

La verifica dei comportamenti degli studenti avverrà in aula durante le lezioni frontali, attraverso domande a loro rivolte su temi specifici trattati durante le lezioni precedenti.

##### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Conoscenze di base relative alla teoria dei segnali (deterministici ed aleatori, tempo-continui e tempo-discreti) e alla teoria dei sistemi. Conoscenza delle principali tecniche utilizzate nei sistemi di comunicazione.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### Indicazioni metodologiche

Tipo di insegnamento: lezioni frontali

Metodi di apprendimento:

- presenza alle lezioni
- partecipazione alle discussioni
- studio individuale

Frequenza: raccomandata

Forme di insegnamento:

- lezioni

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

1. **Lossless Data Compression:** Sorgente di informazione digitale senza memoria e concetto di codifica di sorgente – Entropia di Shannon – Codici a lunghezza variabile e disuguaglianza di Kraft – Codici di Huffman, di Shannon Fano, Arithmetic Coding – Teorema della compressione dati
2. **Reliable Transmission of Information I:** Data corruption: rumore di trasmissione o di registrazione/lettura - Modello probabilistico del data corruption (canale rumoroso) con esempi – Entropia congiunta di due variabili aleatorie. Entropia condizionata. Relazione tra entropia congiunta, condizionata e marginale (chain rule per l'entropia). Informazione mutua. Informazione mutua condizionata. Data-processing inequality.
3. **Reliable Transmission of Information II:** – Introduzione alla codifica di canale. Canali discreti senza memoria. Canali simmetrici. Proprietà dei canali simmetrici. Canale binario simmetrico (BSC) e Canale binario con cancellazione (BEC). Capacità di canale. Capacità del BSC. Capacità del BEC. Capacità di canali discreti senza memoria simmetrici. Introduzione al teorema sulla codifica di canale: definizione di codice a blocco, decodifica a blocco, probabilità di errore, criterio MAP, criterio MV. Teorema di Shannon sulla codifica di canale. Sorgenti di informazione continue. Entropia di variabili aleatorie continue. Entropia relativa (distanza di Kullback-Leibler). Informazione mutua tra due variabili aleatorie continue. Calcolo della capacità di un canale additivo con ingresso binario e uscita gaussiana (Bi-AWGN). Piano delle efficienze. Capacità di un canale additivo gaussiano con ingresso continuo. Capacità di canali gaussiani paralleli. Algoritmo di water-filling. Canali gaussiani paralleli con rumore colorato. Capacità del canale gaussiano tempo-continuo. Limite di Shannon. Efficienza spettrale. Piano di Shannon. Codici a blocco. Codici a blocco lineari binari.

### Modulo di WIRELESS COMMUNICATIONS

1. **Wireless Channels Modeling:** Modelli deterministici e statistici dei canali di propagazione. Propagazione per cammini multipli. Canali stazionari e canali tempo-varianti. Canali piatti e canali selettivi in frequenza. Canali di Rice e di Rayleigh. Probabilità di errore e probabilità di fuori servizio in canali di Rayleigh. Tecniche di trasmissione/ricezione in diversità. Modelli stocastici per canali tempo-varianti. Modello di Jakes-Clarke.
2. **Wideband Multicarrier Signaling:** Trasmissioni multi-portante su canali selettivi in frequenza. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Densità spettrale di potenza e ricevitore ottimo per segnali OFDM. Implementazione digitale di un modem OFDM: prefisso ciclico, equalizzazione ZF.
3. **Spread-Spectrum Communications and CDMA:** Sistemi a spettro espanso: principi generali. Sistemi DS-SS. Schema del trasmettitore e principi di funzionamento. Densità spettrale di potenza di un sistema DS-SS. Schema del ricevitore. Tecniche di accesso a divisione di codice (CDMA). CDMA sincrono. Calcolo della probabilità di errore per sistemi sincroni.

### Bibliografia e materiale didattico

TESTI CONSIGLIATI:

- [Lezioni di Teoria dell'Informazione - M. Luise](#)
- T. Cover and J. Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley-Interscience publication.
- D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge University Press.

MATERIALE DIDATTICO:

- Dispense sui sistemi a spettro espanso.

### Modalità d'esame

Esame orale su ciascuno dei due moduli (Information Theory e Wireless Communications).

### Altri riferimenti web

Prof. Luise's Home Page: <http://www.iet.unipi.it/m.luise/>

