



Insegnamento	Teoria dei Segnali
Livello e corso di studio	Laurea Triennale in Ingegneria Industriale (L-9): curriculum elettronico
Settore scientifico disciplinare (SSD)	ING-INF/03 (TELECOMUNICAZIONI)
Anno di corso	3
Numero totale di crediti	9
Propedeuticità	Analisi Matematica I, Analisi Matematica II e Geometria
Docente	Danilo Orlando AREA: Ingegneria NICKNAME: orlando.danilo EMAIL: danilo.orlando@unicusano.it ORARIO DI RICEVIMENTO: consultare il calendario al link <a href="https://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica">https://www.unicusano.it/calendario-lezioni-in-presenza/calendario-area-ingegneristica</a>
Presentazione	<p>L'insegnamento di "Teoria dei Segnali" si propone di fornire allo studente gli strumenti analitici per il trattamento del segnale. In particolare, lo studente acquisirà le metodologie più comuni utili a valutare le caratteristiche e i parametri fondamentali di un segnale, inteso come la variazione nel tempo di una qualsiasi grandezza fisica. A tali parametri è associata l'informazione trasportata dal segnale stesso. I domini di analisi dei segnali sono il tempo e la frequenza e in questo contesto l'obiettivo è quello di rendere lo studente in grado di caratterizzare e manipolare i diversi segnali in entrambi i domini di analisi. A tal fine il programma dell'insegnamento comprende lo studio dei sistemi lineari, che approssimano attraverso modelli semplici e di facile applicazione sistemi più complessi, e l'analisi nel dominio della frequenza, basata su strumenti analitici come la Trasformata e la Serie di Fourier. E' importante sottolineare che il presente insegnamento, a fronte della digitalizzazione di gran parte dei segnali che si incontrano nella vita quotidiana, pone un'enfasi non trascurabile sulle tecniche di elaborazione dei segnali tempo discreto a partire dal campionamento (sia in banda base che in banda passante) fino alla Trasformata Discreta di Fourier. Infine, l'insegnamento tratta anche l'elaborazione dei segnali di natura aleatoria e per questo lo studente acquisirà la capacità di applicare gli strumenti del calcolo delle probabilità all'elaborazione del segnale.</p>
Obiettivi formativi	<p>Gli obiettivi formativi dell'insegnamento di "Teoria dei Segnali" sono:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• presentazione delle caratteristiche generali di un segnale;</li><li>• descrizione dei segnali più comuni sia tempo continuo che tempo discreto;</li><li>• introduzione dei sistemi lineari e delle loro proprietà e definizione degli strumenti analitici per il calcolo dell'uscita di un sistema lineare;</li></ul>



	<ul style="list-style-type: none"><li>• introduzione alla rappresentazione dei segnali nel dominio della frequenza e definizione della serie e della trasformata di Fourier insieme alle loro proprietà come strumenti di analisi;</li><li>• presentazione delle tecniche più comuni per la digitalizzazione del segnale;</li><li>• definizione degli strumenti di analisi per segnali aleatori.</li></ul>
Prerequisiti	L'insegnamento richiede che lo studente abbia una ottima padronanza degli strumenti dell'analisi matematica e della geometria. In particolare, lo studente deve padroneggiare il calcolo integrale multidimensionale, i limiti, le successioni e le serie di funzioni, il calcolo vettoriale e matriciale.
Risultati di apprendimento attesi	<p>In sintesi, i risultati di apprendimento attesi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE (KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING):</b> lo studente avrà acquisito capacità analitiche relative all'elaborazione dei segnali. In particolare sarà in grado di padroneggiare le tecniche fondamentali di manipolazione dei segnali sia nel dominio del tempo (convoluzione, correlazione, medie temporali) che della frequenza (Serie e Trasformata di Fourier) e con riferimento a segnali deterministici e aleatori (caratterizzazioni statistiche e sintetiche) tempo discreto e/o tempo continuo.</li><li>• <b>APPLICAZIONE DELLA CONOSCENZA E DELLA COMPrensIONE (APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING):</b> lo studente sarà in grado di affrontare i problemi più ricorrenti di elaborazione del segnale quali il filtraggio, l'analisi in frequenza, il campionamento, etc., mediante l'applicazione delle conoscenze acquisite durante il corso. In particolare, lo studente sarà in grado di capire come affrontare tali problemi e quali tecniche utilizzare.</li><li>• <b>AUTONOMIA DI GIUDIZIO (MAKING JUDGEMENTS):</b> lo studente sarà in grado di interpretare i risultati ottenuti dall'analisi dei segnali al fine di capire la tipologia di interventi necessari per ottenere i risultati voluti.</li><li>• <b>ABILITÀ COMUNICATIVE (COMMUNICATION SKILLS):</b> lo studente avrà un linguaggio tecnico-scientifico appropriato che permetta di esprimere in modo chiaro e privo di ambiguità le conoscenze tecniche acquisite nell'ambito degli argomenti proposti ed analizzati.</li><li>• <b>CAPACITÀ DI APPRENDERE (LEARNING SKILLS):</b> lo studente sarà in grado utilizzare sapientemente le conoscenze acquisite per lo studio e l'analisi di nuove tematiche legate all'elaborazione del segnale in diversi campi di applicazione (comunicazioni analogiche, comunicazioni digitali, elaborazione delle immagini, elaborazione numerica dei segnali).</li></ul>
Organizzazione dell'insegnamento	L'insegnamento di "Teoria dei Segnali" prevede 9 CFU, che corrispondono a un carico di studio di almeno 225 ore da parte dello studente, ed è sviluppato attraverso le lezioni ed esercitazioni preregistrate audio-video, dispense e altre risorse didattiche di supporto. Tale



materiale è disponibile in piattaforma. Inoltre, per una preparazione quanto più completa del presente insegnamento, si raccomanda di affiancare lo studio delle dispense con la consultazione del testo di riferimento principale (a disposizione nella Biblioteca di Ateneo). Si tenga presente che i testi di riferimento secondari sono consigliati solo per eventuali approfondimenti da parte dello studente.

Il carico di studio comprende almeno il seguente carico di lavoro:

- 178 ore per la visualizzazione e lo studio delle lezioni (25.5 ore di videolezione);
- 10 ore per lo studio e visualizzazione delle esercitazioni (2 ore di esercitazione);
- 37 ore di didattica interattiva sul forum (aula virtuale) mirata allo svolgimento di esercizi proposti dal docente. Si tratta di esercizi su specifiche parti del programma che preparano lo studente a sostenere l'esame finale.

E' importante tenere presente che le esercitazioni e gli esercizi proposti dal docente sia finali che transitori (attività interattive) mirano a far acquisire allo studente le capacità analitiche per risolvere i problemi di elaborazione del segnale con la dovuta proprietà di linguaggio tecnico nonché la capacità di applicare gli strumenti teorici idonei. Quindi le attività sopraelencate sono obbligatorie al fine di poter sostenere in maniera proficua l'esame.

Sono poi proposti degli esercizi finali di autovalutazione, di tipo asincrono, che consistono in tracce di esame mirate ad aiutare lo studente a capire il livello di preparazione raggiunto. Anche questa attività, che si avvale degli strumenti forniti in piattaforma, è interattiva e richiede ulteriori ore di studio a discrezione dello studente.

Infine, la didattica si avvale di strumenti sincroni come il ricevimento in web-conference e chat disponibili in piattaforma che consentono un'interazione in tempo reale con gli studenti iscritti.

Contenuti del corso

- **MODULO 1, SETTIMANA 1-2, 28 ORE DI STUDIO**

- **Introduzione (Settimana 1-2, 14 ore di studio)**

- Concetto di segnale;

- Classificazione dei segnali;

- Segnali deterministici: considerazioni energetiche e medie temporali;

- Medie temporali;

- Operazioni elementari sui segnali deterministici.



## **Segnali deterministici nel dominio del tempo (Settimana 1-2, 14 ore di studio)**

Segnali elementari: Impulso o finestra rettangolare, Gradino unitario, Segnale segno, Segnale rampa, Segnale triangolare, Esponenziale complesso a tempo continuo, Segnale sinusoidale, Impulso ideale unitario;

Lo spazio dei segnali: Coefficiente di correlazione e Principio di Ortogonalità; Funzioni di correlazione.

- **MODULO 2, SETTIMANA 3, 10.5 ORE DI STUDIO**

Studio dei sistemi nel dominio del tempo (Settimana 3, 10.5 ore di studio)

Sistemi monodimensionali: generalità; Proprietà dei sistemi monodimensionali:

Dispersività, Invertibilità, Stazionarietà, Causalità, Stabilità, Linearità;

Sistemi lineari (risposta impulsiva): Tempo discreto, Tempo continuo,

Caratterizzazione dei sistemi lineari; Sistemi lineari stazionari: la convoluzione, legami ingresso-uscita.

- **ESERCITAZIONE MODULI 1-2, 2.5 ORE DI STUDIO**

- **ATTIVITA' INTERATTIVA IN PIATTAFORMA, 7 ORE DI STUDIO**

Esercizi proposti dal docente (7 ore di studio)

- **MODULO 3, SETTIMANA 4-6, 38.5 ORE DI STUDIO**

### **Analisi nel dominio della frequenza (Settimana 4-6, 38.5 ore di studio)**

Segnali periodici a tempo continuo: la serie di Fourier tempo continuo, Forma complessa dello sviluppo in serie, Forma rettangolare dello sviluppo in serie, Criterio di Dirichlet, Spettri di ampiezza e di fase;

Proprietà dello spettro: Segnali periodici reali, Segnali pari, Segnali dispari, Segnali alternativi, Sintesi di un segnale con un numero limitato di armoniche (fenomeno di Gibbs);

Segnali periodici a tempo discreto: la serie di Fourier tempo discreto;

Segnali aperiodici: la trasformata di Fourier: Trasformata di Fourier per segnali a tempo continuo, il decibel, Segnali a tempo discreto, Proprietà della trasformata di Fourier, Trasformata di Fourier al limite, Integrazione (continuazione);

Analisi dei sistemi LTI nel dominio della frequenza: la risposta in frequenza, Sistemi LTI in cascata e in parallelo;

Cenni sui Filtri: Causalità e Criterio di Paley-Wiener, Osservazioni su legame banda-durata di un segnale e di un sistema LTI, Distorsioni introdotte dai filtri;

Densità spettrali di energia e di potenza: Densità spettrale di energia, Densità spettrale di potenza, Teorema di Wiener-Khintchine, Densità spettrale di potenza per segnali periodici.



- **MODULO 4, SETTIMANA 7-8, 21 ORE DI STUDIO**  
**Campionamento dei segnali (Settimana 7-8, 10.5 ore di studio)**  
Campionamento reale;  
Conversione analogico/numerica e quantizzazione (cenni);  
Cambiamento della frequenza di campionamento: Decimazione, Espansione,  
Cambiamento frazionario della frequenza di campionamento;  
Campionamento in banda passante.  
  
**Trasformata discreta di Fourier (DFT) (Settimana 7-8, 10.5 ore di studio)**  
DFT in forma vettoriale;  
Interpretazione della DFT e legame con la DTFT;  
Proprietà della DFT: Linearità, Traslazione circolare, Inversione circolare, Teorema della convoluzione;  
Filtraggio basato sulla DFT: Filtraggio polifase (cenni).
- **ESERCITAZIONE MODULI 1-4, 5 ORE DI STUDIO**
- **ATTIVITA' INTERATTIVA IN PIATTAFORMA, 15 ORE DI STUDIO**  
Esercizi proposti dal docente (15 ore di studio)
- **MODULO 5, SETTIMANA 9-10, 42 ORE DI STUDIO**  
**Elementi di Teoria della Probabilità (Settimana 9-10, 42 ore di studio)**  
Esperimento aleatorio;  
Eventi;  
Assiomi della probabilità;  
Probabilità condizionata;  
Leggi fondamentali;  
Variabili aleatorie;  
Funzione di distribuzione cumulativa;  
Funzione di densità di probabilità;  
Medie e momenti di variabili aleatorie;  
Caratterizzazione congiunta di più variabili aleatorie;  
Variabili aleatorie indipendenti;  
Stime basate su sequenze di osservazioni.
- **MODULO 6, SETTIMANA 11-12, 38 ORE DI STUDIO**  
**Segnali aleatori (Settimana 11-12, 38 ore di studio)**  
Segnali aleatori;  
Caratterizzazione statistica di segnali aleatori: Caratterizzazione sintetica;  
Segnali aleatori stazionari;



	<p>Processi gaussiani; Ergodicità; Caratterizzazione congiunta; Caratterizzazione energetica dei segnali: Segnali di energia e di potenza, Densità spettrali di energia e di potenza; Legami I/O per sistemi LTI con ingresso aleatorio: Analisi nel dominio del tempo; Legami ingresso uscita per le PSD.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>ESERCITAZIONE MODULI 1-6, 2.5 ORE DI STUDIO</b></li><li>• <b>ATTIVITA' INTERATTIVA IN PIATTAFORMA, 15 ORE DI STUDIO</b> Esercizi proposti dal docente (15 ore di studio)</li></ul>
Materiali di studio	<p>Videolezioni preregistrate a cura del docente</p> <p>Materiali didattici di supporto a cura del docente (dispense e altro)</p> <p>Testi consigliati in ordine di priorità:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Riferimento principale: M. Luise e G. M. Vitetta, Teoria dei Segnali, McGraw-Hill, II ed., 2002.</li><li>• Riferimento secondario: E. Conte, Lezioni di Teoria dei Segnali, Liguori Editore, 1996.</li><li>• Riferimento secondario: E. Conte e C. Galdi, Fenomeni Aleatori, Aracne Editore, 2006.</li></ul>
Modalità di verifica dell'apprendimento	<p>L'esame consiste nello svolgimento di una prova scritta tendente ad accertare le capacità di analisi, la proprietà di linguaggio e la capacità di applicazione dei concetti acquisiti.</p> <p>La prova scritta si compone di 3 esercizi (sia di natura teorica che di natura applicativa) che riguardano l'intero programma dell'insegnamento, ogni domanda ha uguale dignità e pertanto un massimo voto pari a 10. Particolare attenzione nella valutazione delle risposte date viene data alla capacità dello studente di rielaborare, applicare e presentare con proprietà di linguaggio il materiale presente in piattaforma (maturata a valle dello svolgimento delle attività interattive).</p>
Criteri per l'assegnazione dell'elaborato finale	<p>L'assegnazione dell'elaborato finale avverrà sulla base di un colloquio con il docente in cui lo studente manifesterà i propri specifici interessi in relazione a qualche argomento che intende approfondire. Date le propedeuticità indicate, ai fini dell'assegnazione della tesi, si richiede una media maggiore o uguale a 25 nei seguenti esami "Analisi Matematica I", "Analisi Matematica II" e "Geometria".</p>