

**Università degli Studi di Palermo**  
**Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica**  
**A.A.2011/2012**

Corso: Fondamenti di comunicazioni elettriche (9 CFU)  
Docente: Dott. Ing. Stefano Mangione

Libro di testo consigliato: Haykin, Moher; "Introduzione alle telecomunicazioni analogiche e digitali"; Casa Editrice Ambrosiana

*Introduzione*

Obiettivi del corso. Panoramica degli argomenti trattati e relazioni con altri insegnamenti attivi nei corsi di laurea triennale e magistrale.

*Trasformata di Fourier*

Trasformata di Fourier: definizione, significato e criteri di esistenza. Proprietà della trasformata di Fourier: linearità, traslazione, cambio di scala, valore iniziale, dualità, derivazione, modulazione, prodotto di convoluzione.

Teorema di Parseval. Funzione di autocorrelazione per segnali ad energia ed a potenza finita. Teorema di Wiener per il calcolo della densità spettrale di energia e di potenza.

Trasformate notevoli: impulso esponenziale del primo ordine, impulso rettangolare, seno cardinale, impulso triangolare, impulso Gaussiano.

*Cenni alla teoria delle distribuzioni*

Richiami di teoria delle distribuzioni. Distribuzioni regolari. Distribuzioni singolari: delta di Dirac, pseudo funzione  $1/t$ . Trasformata di Fourier di una distribuzione.

Sviluppo in serie di Fourier, calcolo mediante la trasformata di Fourier. Relazione di Parseval per lo sviluppo in serie di Fourier. Densità spettrale di potenza di un segnale periodico. Trasformata di Fourier del segnale periodico per costruzione. Identità di Poisson.

*Teorema del campionamento e cenni all'elaborazione di segnali a tempo discreto*

Teorema del campionamento. Sistema di campionamento e ricostruzione per un segnale a banda limitata. Formula di interpolazione cardinale. Cenni alla trasformata di Fourier discreta ed alla valutazione numerica della trasformata di Fourier.

*Prodotto di convoluzione*

Proprietà del prodotto di convoluzione: linearità, stazionarietà, derivazione. Integrazione come prodotto di convoluzione con un gradino unitario. Il prodotto di convoluzione come relazione ingresso-uscita di un sistema LTI. Filtri ideali e reali. Stabilità in senso b.i.b.o. Sistemi LTI stabili.

Concetto e definizioni di banda di un segnale: a 3dB, efficace (rms), al 99%. Concetto duale di durata efficace di un segnale. Disuguaglianza di Schwarz e principio di indeterminazione.

*Modulazioni analogiche di ampiezza*

Piano delle frequenze, allocazione dello spettro. Il segnale a modulazione analogica di ampiezza. Demodulazione di segnali AM. Demodulazione ad involuppo. Modulazione DSB-SC e demodulatore. Modulazione SSB. Trasformata di Hilbert, discussione sull'implementazione del filtro di Hilbert. Struttura del modulatore e del demodulatore SSB.

Problemi nella modulazione SSB: cenni alla modulazione VSB.

Cenni al problema della ricostruzione di portante: l'anello di Costas.

### *Cenni alle modulazioni analogiche di frequenza*

Forma generale delle modulazioni d'angolo. Banda del segnale FM: analisi con modulante sinusoidale e regola di Carson.

### *Richiami di teoria della probabilità*

Motivazioni ed introduzione alla teoria della probabilità e dei fenomeni aleatori. Esperimento casuale, spazio di probabilità. Definizione di variabile aleatoria. Definizione di distribuzione e densità di probabilità di una variabile aleatoria.

Distribuzioni di Bernoulli, binomiale, di Poisson, uniforme, esponenziale, gaussiana.

Densità di probabilità di più variabili aleatorie. Variabili gaussiane. Densità di probabilità di funzioni di vv.aa. Correlazione, covarianza, incorrelazione di più variabili aleatorie. Coefficiente di covarianza, media (valore "atteso") e valore più probabile (ML) di una variabile aleatoria.

### *Cenni al problema della quantizzazione*

Completamento della transizione da analogico a digitale. Caratteristica di quantizzazione. Legge di quantizzazione ottima. Legge di quantizzazione uniforme. Modulazione PCM.

### *Segnali aleatori o processi stocastici*

Definizione di processo aleatorio. Densità di probabilità e medie di un processo aleatorio. Funzione di autocorrelazione di un segnale aleatorio. Segnali aleatori stazionari in senso lato ed in senso stretto. Densità spettrale di energia e di potenza di un segnale aleatorio.

### *Cenni ai canali di comunicazione*

Concetto di canale di comunicazione: distorsione, interferenza e rumore. Il processo di rumore bianco. Il canale AWGN. Processo di rumore bianco gaussiano filtrato: autocorrelazione e densità spettrale di potenza. Condizioni per l'indipendenza statistica dei campioni di un processo di rumore bianco gaussiano filtrato linearmente.

### *Cenni alla trasmissione numerica in banda base*

Trasmissione numerica in banda base: modello equivalente della trasmissione a radiofrequenza. Componenti in fase e quadratura di un segnale passa-banda. Segnale digitale modulato linearmente come duale del problema di campionamento e ricostruzione. Costellazioni (alfabeti di segnalazione) reali e complesse.

Rivelazione di un segnale modulato linearmente in assenza di rumore: condizione di Nyquist per l'ortogonalità degli impulsi di segnalazione. Rivelazione di un singolo impulso trasmesso su un canale affetto da rumore additivo gaussiano: rivelatore a correlazione o a filtro adattato. Ricevitore ottimo per trasmissione senza memoria sul canale AWGN. Probabilità di errore.

Cenni ai compromessi progettuali in un sistema di comunicazione ed alla codifica di canale.