



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS

### ISIDORO FERRANTE

Anno accademico	2023/24
CdS	EXPLORATION AND APPLIED GEOPHYSICS
Codice	338BB
CFU	6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS	FIS/01	LEZIONI	48	ISIDORO FERRANTE

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Fondamenti della teoria dell'analisi dei segnali: Digitalizzazione, trasformazioni di Fourier a tempo discreto e continuo, processi aleatori, spettri, sistemi LTI, filtri digitali.

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

Esame orale

##### *Capacità*

Risoluzione di semplici problemi di analisi dei segnali. Disegno di filtri fir, lettura di uno spettro o di uno spettrogramma.

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

Esame orale

##### *Comportamenti*

Gli studenti acquisiranno la capacità di leggere spettri e spettrogrammi.

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

Agli studenti verrà chiesto di disegnare o interpretare grafici di spettri e spettrogrammi.

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

Uso dei numeri complessi.

##### *Programma (contenuti dell'insegnamento)*

Segnali in fisica. Segnali a tempo continuo e a tempo discreto. Segnali a valori continui e a valori discreti. Segnali analogici e segnali digitali. Campionamento e quantizzazione. Classificazione dei segnali. Energia e potenza di un segnale. Segnali periodici. Operazioni tra segnali: somma, differenza, prodotto. Correlazione incrociata e correlazione media incrociata. Esempio di correlazione come filtro. Convoluzione. Correlazione e convoluzione circolari. Processi aleatori. Media sull'ensemble: media, varianza, deviazione standard ed autocorrelazione di un processo. Stazionarietà in senso stretto ed in senso lato. Processi ergodici. Rumore bianco a tempo discreto ed a tempo continuo, media a due punti di un rumore bianco, rumore bianco filtrato con un filtro ad un polo. Stima della media e della funzione di autocorrelazione: stime biased ed unbiased. Serie, trasformate di Fourier a tempo continuo e a tempo discreto: definizione, formule di sintesi e di analisi. Cenni sulla FFT. Trasformata di Fourier generalizzata. Zero padding. Il teorema della convoluzione. Calcolo numerico della convoluzione. Teorema di Parseval per tutte le trasformate. Spettro di energia e spettro di potenza. Teorema di Wiener Kintchine: Densità di energia spettrale nei processi stocastici stazionari a tempo continuo e a tempo discreto. Il teorema di Nyquist: spettro a tempo discreto di un segnale a tempo continuo campionato. Il criterio di Nyquist. Formula di inversione per segnali che soddisfano il criterio di Nyquist. Stima dello spettro in energia di segnali campionati. Stima dello spettro di potenza di processi aleatori a partire da una singola realizzazione campionata: periodogramma, metodo di Bartlett, metodo di Welch, metodo di Tukey. Finestre. Risoluzione in frequenza. Sommadi processi stazionari indipendenti. Limite di quantizzazione.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

Sistemi. Definizione. Sistemi dinamici, sistemi lineari, sistemi rilassati, invarianza temporale.

Sistemi LTI: caratterizzazione tramite la risposta in impulso. Risposta di un sistema LTI ad un esponenziale complesso. Risposta in frequenza di un sistema LTI.

Sistemi lineari descritti da una equazione alle differenze finite. Calcolo della risposta in frequenza di un sistema definito da una equazione alle differenze finite.

Trasformata z. Esempi. Definizione di regione di convergenza (ROC) Proprietà della trasformazione. Funzione caratteristica, o di trasferimento, di un sistema descritto da una equazione alle differenze finite. Analisi di una funzione razionale. Poli e zeri di una funzione di trasferimento.

Inversione di una funzione razionale in z. Stabilità del sistema.

Filtri ideali e filtri reali: passa basso, passa alto, passa banda e blocca banda. Fase lineare.

Filtri FIR: diversi tipi di risposta in impulso simmetrica ed antisimmetrica. Disegno tramite finestrazione. Disegno tramite DFT. Filtri derivativi. Il filtro adattato e quello di Wiener.

Filtri IIR. Disegno di semplici filtri: polo singolo, risonatore, notch, integratore.

Cenni alla trasformata di Laplace. Poli e zeri nel piano s. Trasformazione tra i piani s e z.

Filtri di uso comune: butterworth, Chebychev I e II.

Combinazione di filtri IIR, trasformazione di un passa basso in un passa alto. Combinazione di filtri in modo tale da ottenere un passa banda o un blocca banda.

Filtri a fase zero. Transiente e risposta allo scalino.

Stima della risposta in frequenza di un sistema.

Decimazione e sovracampionamento. La conversione A/D e D/A rivisitata. Tecniche multirate.

### Bibliografia e materiale didattico

In Italiano:

Isidoro Ferrante, "Analisi dei segnali per la fisica" Pisa University Press

Luise, Vitetta: "Teoria dei segnali", Mc Graw Hill

In English:

Prohakis, Manolakis, **Digital signal processing**, Pearson

Steven W. Smith, **The scientist and engineer guide to Digital Signal Processing**, California Technical Publishing.

### Indicazioni per non frequentanti

Le lezioni dell'A.A. 2020/2021 si trovano all'indirizzo: <https://web.microsoftstream.com/group/27d6bc96-1f69-45cd-9e28-b4906e5e9cfe> .

### Modalità d'esame

Esame orale

### Pagina web del corso

<https://polo3.elearning.unipi.it/course/view.php?id=3292>

### Altri riferimenti web

<http://www.dspguide.com/>

<https://octave.org/doc/v4.2.1/Signal-Processing.html>

<https://www.scilab.org/>

Ultimo aggiornamento 14/08/2023 09:48