



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

|                                                  |                                                                              |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| DIPARTIMENTO                                     | Ingegneria                                                                   |
| ANNO ACCADEMICO OFFERTA                          | 2024/2025                                                                    |
| ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE                       | 2024/2025                                                                    |
| CORSO DILAUREA MAGISTRALE                        | ELECTRONICS ENGINEERING                                                      |
| INSEGNAMENTO                                     | DIGITAL SIGNAL PROCESSING                                                    |
| TIPO DI ATTIVITA'                                | C                                                                            |
| AMBITO                                           | 20925-Attività formative affini o integrative                                |
| CODICE INSEGNAMENTO                              | 20523                                                                        |
| SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI                 | ING-INF/03                                                                   |
| DOCENTE RESPONSABILE                             | CROCE DANIELE      Ricercatore a tempo determinato      Univ. di PALERMO     |
| ALTRI DOCENTI                                    |                                                                              |
| CFU                                              | 6                                                                            |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE    | 102                                                                          |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA | 48                                                                           |
| PROPEDEUTICITA'                                  |                                                                              |
| MUTUAZIONI                                       |                                                                              |
| ANNO DI CORSO                                    | 1                                                                            |
| PERIODO DELLE LEZIONI                            | 1° semestre                                                                  |
| MODALITA' DI FREQUENZA                           | Facoltativa                                                                  |
| TIPO DI VALUTAZIONE                              | Voto in trentesimi                                                           |
| ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI             | CROCE DANIELE<br>Lunedì    10:00    11:00    chiedere appuntamento via email |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PREREQUISITI</b>                      | Conoscenze di base di teoria dei segnali e teoria dei sistemi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b> | <p><b>Conoscenza e capacita di comprensione</b><br/>         Lo studente al termine del corso avra acquisito la conoscenza delle principali tecniche di elaborazione numerica dei segnali, con particolare riguardo alle tecniche di trasformazione e di filtraggio dei segnali. Tali conoscenze lo metteranno in grado di comprendere il ruolo di ciascuno degli algoritmi di base all'interno di un sistema di elaborazione numerica, nonche l'impatto degli errori di approssimazione numerica sulle prestazioni complessive del sistema. A tal fine, durante il corso saranno presentate e discusse in aula le principali operazioni di base sui segnali a tempo discreto, la cui composizione mette in grado di ottenere, con maggiore o minore approssimazione, le prestazioni richieste al sistema di elaborazione numerica. Cio comportera sia l'introduzione di alcuni strumenti di analisi teorica dei segnali a tempo discreto, sia la presentazione di algoritmi specifici, sui quali verra effettuata una discussione critica, con il contributo attivo degli studenti. Per il raggiungimento di questo obiettivo il corso prevede lezioni frontali ed esercitazioni in aula di carattere teorico. La verifica del raggiungimento di questo obiettivo sara ottenuta tramite la prova scritta e la prova orale.</p> <p><b>Capacita di applicare conoscenza e comprensione</b><br/>         Lo studente sara in grado di applicare le conoscenze acquisite e la comprensione degli argomenti del corso a problemi di progettazione di sistemi di elaborazione numerica, con particolare riguardo ai filtri numerici; potra inoltre applicare tali conoscenze alla valutazione, per ciascuna soluzione, di parametri quali la complessita computazionale, i requisiti di memoria e la qualita del progetto in relazione ai risultati ottenuti rispetto alle specifiche desiderate. Per il raggiungimento di tale obiettivo sono previste nel corso alcune lezioni ed esercitazioni di carattere applicativo; alcune di queste ultime comprenderanno discussioni comparative di soluzioni alternative ad uno stesso problema, con il contributo attivo degli studenti, nonche discussioni, da parte degli studenti, di argomenti loro preventivamente proposti. La verifica del raggiungimento di tale obiettivo sara ottenuta sia attraverso la prova scritta, che comprendera un semplice progetto, sia attraverso quella parte del colloquio che vertera su argomenti di carattere applicativo che sono stati oggetto di esercitazioni in aula.</p> <p><b>Autonomia di giudizio</b><br/>         Lo studente sara in grado di giudicare e mettere a confronto fra loro piu soluzioni di uno stesso problema sulla base di valutazioni quantitative delle principali caratteristiche di ciascuna soluzione. Per il raggiungimento di tale obiettivo sono previste alcune esercitazioni in cui vengono confrontate criticamente soluzioni alternative, con il contributo attivo degli studenti. In esse si discutono pregi e difetti di ciascuna delle soluzioni possibili da diversi punti di vista, quali ad esempio il costo computazionale, la memoria richiesta, la precisione raggiunta. La verifica di tale obiettivo sara effettuata in sede di prova orale, riprendendo discussioni comparative su temi affrontati in esercitazioni ed affrontando discussioni su argomenti similari.</p> <p><b>Abilita comunicative</b><br/>         Lo studente sara in grado di comunicare con chiarezza problemi e soluzioni relative alle tematiche dell'elaborazione numerica di segnali. In particolare sara in grado di motivare le scelte effettuate nella risoluzione dei problemi di analisi o di progetto. Per il raggiungimento di questo obiettivo il corso prevede discussioni in aula, da parte degli studenti, di argomenti loro preventivamente proposti. La verifica di tali capacita verra effettuata in sede di prova orale.</p> <p><b>Capacita d'apprendimento</b><br/>         Lo studente sara in grado di approfondire autonomamente problematiche non affrontate direttamente nell'ambito delle lezioni frontali, attraverso lo studio personale di nuove tematiche. Per il raggiungimento di tale obiettivo verranno proposti agli studenti argomenti da approfondire, con successiva discussione in aula. La verifica di tali capacita verra effettuata in sede di prova orale, nel corso della quale verra ripresa la discussione degli argomenti proposti.</p> |
| <b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>    | <p>Prova scritta ed orale svolte al fine di accertare il grado di conoscenza effettivamente acquisito e la capacita' di esporre i concetti in modo chiaro ed efficace e di applicarli. Il voto verra' attribuito sulla base del livello che lo studente dimostra di aver raggiunto durante le prova d'esame basandosi sulla griglia in calce.</p> <p><b>Criterio di attribuzione del voto:</b><br/>         30-30 e lode: Valutazione eccellente/ottimo. Ottima conoscenza degli argomenti, ottima capacita' analitica anche in nuovi contesti; ottima proprieta' di linguaggio e di apprendimento.<br/>         27-29: Valutazione molto buono. Buona padronanza degli argomenti, piena proprieta'a' di linguaggio, lo studente e' in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti.<br/>         24-26: Valutazione buono. Conoscenza di base dei principali argomenti, discreta proprieta' di linguaggio, con limitata capacita' di applicare autonomamente le conoscenze alla soluzione dei problemi proposti.<br/>         21-23: Soddisfacente. Parziale autonomamente le conoscenze acquisite.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <p>18-20: Sufficiente. Minima conoscenza degli argomenti del corso e del linguaggio tecnico, scarsissima o nulla capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite.</p> <p>Insufficiente: non possiede una conoscenza accettabile dei contenuti degli argomenti trattati durante il corso</p> <p>Per gli studenti con disabilità e neurodiversità saranno garantiti gli strumenti compensativi e le misure dispensative individuate, dal CeNDis - Centro di Ateneo per la disabilità e la neurodiversità, in base alle specifiche esigenze e in attuazione della normativa vigente.</p>                                                                                                                                              |
| <b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>            | Il corso implementa gli obiettivi formativi previsti dalla SUA-CdS del corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica per quanto riguarda i metodi di elaborazione dei segnali. In accordo con gli obiettivi formativi qualificanti della classe di laurea magistrale, i laureati potranno trovare occupazione in particolare nelle aree dell'ingegneria delle telecomunicazioni e dell'ingegneria biomedica, nelle quali le competenze acquisite nell'ambito dell'elaborazione numerica dei segnali svolgono un ruolo centrale. In accordo con i risultati di apprendimento attesi, il laureato in Ingegneria Elettronica avrà acquisito, tramite il corso in oggetto, la conoscenza dei principali metodi di elaborazione dei segnali. |
| <b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b> | Lezioni frontali, esercitazioni in aula, discussioni in aula su argomenti preventivamente stabiliti.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>TESTI CONSIGLIATI</b>              | Oppenheim A.V. – Schafer R.W.: digital signal processing. Prentice Hall, 2nd Edition ISBN: 0137549202<br>Lecture notes and slides                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

### PROGRAMMA

| ORE | Lezioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Introduzione al corso: obiettivi fondamentali dell'elaborazione numerica dei segnali                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 6   | Segnali a tempo discreto e relative tecniche di analisi: trasformata di Fourier dei segnali a tempo discreto, trasformata zeta e sue proprietà fondamentali, segnali di durata finita, DFT e sue proprietà fondamentali, convoluzione lineare e convoluzione ciclica e relazioni tra loro sussistenti, tecniche di trasformazione e antitrasformazione |
| 6   | Sistemi a tempo discreto e relative tecniche di analisi: sistemi a tempo discreto descritti mediante relazioni ingresso-uscita, risposta impulsiva e funzione di trasferimento, sistemi FIR e IIR, rappresentazione di un sistema mediante grafo di flusso dei segnali, realizzazioni canoniche                                                        |
| 4   | Tecniche di trasformata di Fourier veloce (FFT) e di convoluzione veloce: FFT a radice 2, a decimazione di tempo e di frequenza, metodi di convoluzione veloce ("overlap and sum" e "overlap and save")                                                                                                                                                |
| 4   | Progettazione di filtri IIR: trasferimento delle specifiche di un filtro analogico in quelle di una realizzazione mediante filtro numerico, schemi di tolleranze tipici (filtro passa-basso, passa-banda etc.), problemi di approssimazione, metodi dell'invarianza all'impulso e della trasformazione bilineare.                                      |
| 4   | Progettazione di filtri FIR: filtri a fase lineare, proprietà della risposta impulsiva e della funzione di trasferimento, progettazione di un filtro FIR mediante il metodo delle finestre, progettazione di un filtro FIR a fase lineare mediante il metodo del campionamento in frequenza.                                                           |
| 4   | Filtri di Butterworth, polinomi e filtri di Chebyshev, corrispondenti tecniche di progettazione.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ORE | Esercitazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 13  | Esercitazioni teorico/numeriche sugli argomenti svolti nel corso.                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3   | Esercitazioni con discussioni comparative di soluzioni alternative ad uno stesso problema progettuale                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 3   | Discussioni in aula di argomenti preventivamente assegnati agli studenti.                                                                                                                                                                                                                                                                              |