



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

|                                                  |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DIPARTIMENTO                                     | Ingegneria                                                                                                                                                     |
| ANNO ACCADEMICO OFFERTA                          | 2021/2022                                                                                                                                                      |
| ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE                       | 2021/2022                                                                                                                                                      |
| CORSO DILAUREA MAGISTRALE                        | INGEGNERIA ELETTRICA                                                                                                                                           |
| INSEGNAMENTO                                     | CONTROLLI AUTOMATICI                                                                                                                                           |
| TIPO DI ATTIVITA'                                | C                                                                                                                                                              |
| AMBITO                                           | 20923-Attività formative affini o integrative                                                                                                                  |
| CODICE INSEGNAMENTO                              | 02190                                                                                                                                                          |
| SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI                 | ING-INF/04                                                                                                                                                     |
| DOCENTE RESPONSABILE                             | SFERLAZZA ANTONINO Ricercatore a tempo determinato Univ. di PALERMO                                                                                            |
| ALTRI DOCENTI                                    |                                                                                                                                                                |
| CFU                                              | 9                                                                                                                                                              |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE    | 144                                                                                                                                                            |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA | 81                                                                                                                                                             |
| PROPEDEUTICITA'                                  |                                                                                                                                                                |
| MUTUAZIONI                                       | FONDAMENTI DI AUTOMATICA - Corso: INGEGNERIA MECCANICA<br>FONDAMENTI DI AUTOMATICA - Corso: MECHANICAL ENGINEERING                                             |
| ANNO DI CORSO                                    | 1                                                                                                                                                              |
| PERIODO DELLE LEZIONI                            | 2° semestre                                                                                                                                                    |
| MODALITA' DI FREQUENZA                           | Facoltativa                                                                                                                                                    |
| TIPO DI VALUTAZIONE                              | Voto in trentesimi                                                                                                                                             |
| ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI             | <b>SFERLAZZA ANTONINO</b><br>Lunedì 15:00 17:00 Ufficio del Docente o su M. Teams (4r406w2)<br>Giovedì 11:00 13:00 Ufficio del Docente o su M. Teams (4r406w2) |

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PREREQUISITI</b>                      | Conoscenze di base della matematica e della fisica. In particolare: Numeri complessi, algebra delle matrici, equazioni differenziali.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b> | <p>Conoscenza e capacità di comprensione.</p> <p>Il corso di Controlli Automatici è un corso di base nell'ambito dell'analisi dei sistemi dinamici e del progetto di sistemi di controllo per sistemi reali di qualunque natura. Lo studente, al termine del corso, avrà acquisito un nuovo approccio per affrontare e risolvere problemi ingegneristici di notevole importanza dal punto di vista applicativo. Tale approccio si basa sulla costruzione di un modello matematico del sistema sotto studio, sulla validazione sperimentale di tale modello, sulla individuazione e verifica di diverse proprietà del modello utili anche al fine di determinare le tecniche idonee per il progetto del sistema di controllo, sulla validazione delle prestazioni del sistema di controllo mediante esperimenti di simulazione digitale effettuata su Personal Computer utilizzando strumenti software adeguati e, infine, sulla verifica sperimentale su prototipo utilizzando dispositivi di prototipazione rapida per l'implementazione della parte controllante del sistema di controllo stesso.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione.</p> <p>Lo studente sarà in grado di utilizzare le metodologie acquisite per lo studio ingegneristico di sistemi reali che possano essere descritti da modelli matematici lineari e tempo-invarianti anche a più ingressi e uscite (MIMO). Sarà, altresì, in grado di progettare controllori sia nel dominio del tempo che basati su reti di correzione elementari mediante tecniche di sintesi nel dominio della frequenza e di Laplace.</p> <p>Autonomia di giudizio.</p> <p>Lo studente sarà capace di verificare le proprietà del modello sotto studio e, di conseguenza, di valutare le azioni da intraprendere per conseguire gli obiettivi finali del suo studio che sono quelli di costruire un sistema di controllo che permetta di soddisfare assegnate specifiche di progetto.</p> <p>Abilità comunicative.</p> <p>Le abilità comunicative dello studente verranno evidenziate dalla prova orale in sede di esame.</p> <p>Capacità di apprendimento.</p> <p>Il corso si pone anche l'obiettivo di stimolare l'interesse dello studente per l'approccio di tipo sistematico utilizzato nella trattazione dei vari argomenti oggetto del corso stesso. Lo studente che acquisirà tale metodologia di studio sarà sicuramente in grado di affrontare e risolvere problematiche complesse anche in contesti lavorativi.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>    | <p>La modalità con cui viene accertata l'effettiva acquisizione da parte degli studenti dei risultati di apprendimento attesi è di una prova finale scritta seguita da una prova orale.</p> <p>La prova scritta, della durata complessiva di 3 ore, tende ad accertare il possesso delle abilità, capacità e competenze previste. In particolare la sua struttura prevede tre esercizi che rispettino vincoli tali da renderle confrontabili con criteri di correzione predeterminati. Nella formulazione del voto saranno considerati in ordine di importanza: 1) la logica seguita dallo studente nella risoluzione del quesito; 2) la correttezza della procedura individuata per la soluzione del quesito; 3) l'adeguatezza della soluzione proposta in relazione alle competenze che lo studente si presuppone abbia acquisito alla fine del corso; 4) la correttezza dei calcoli svolti nella risoluzione del quesito.</p> <p>L'attribuzione del voto finale si declina nel seguente modo:</p> <p>30/30 Se tutti e tre gli esercizi sono svolti in maniera corretta rispettando i punti 1), 2), 3) e 4) descritti sopra.</p> <p>27-29/30 Se tutti e tre gli esercizi sono svolti in maniera corretta rispettando i punti 1), 2) e 3), ma vi sono dei piccoli errori di calcolo che non compromettono l'adeguatezza della soluzione proposta. In particolare viene attribuito 27/30 se tali errori sono presenti su tutti e tre gli esercizi, 28/30 se tali errori sono presenti su due esercizi, 29/30 se tali errori sono presenti su un solo esercizio.</p> <p>26-24/30 Se tutti e tre gli esercizi sono svolti in maniera corretta rispettando i punti 1) e 2), ma vi sono degli errori di calcolo che compromettono parzialmente l'adeguatezza delle soluzioni proposte. In particolare viene attribuito 24/30 se tali errori sono presenti su tutti e tre gli esercizi, 25/30 se tali errori sono presenti su due esercizi, 26/30 se tali errori sono presenti su un solo esercizio.</p> <p>23-20/30 Se gli esercizi svolti non rispettano esattamente il punto 2), ma che comunque seguano una logica frutto delle competenze acquisite dallo studente durante corso.</p> <p>18-19/30 Se un esercizio è svolto in maniera errata (perché presenta gravi errori logici tali da compromettere totalmente l'adeguatezza della soluzione proposta), o non viene svolto, mentre gli altri due esercizi vengono svolti correttamente o presentano dei piccoli errori di calcolo, ma che non compromettono l'adeguatezza della soluzione proposta.</p> <p>Se almeno due esercizi su tre sono svolti in maniera errata, (perché presentano gravi errori logici tali da compromettere totalmente l'adeguatezza della soluzione proposta), o non vengono svolti, la prova non è superata.</p> <p>La votazione massima attribuita alla prova scritta è di 30/30.</p> |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <p>Se lo studente ottiene un punteggio minimo di 18/30 alla prova scritta, sarà ammesso alla prova orale. Durante la prova orale lo studente dovrà dimostrare:</p> <p>4) di aver raggiunto una capacità di espressione sufficiente mediante l'impiego di un adeguato linguaggio; 5) di avere maturato i concetti e le competenze che lo studente si presuppone abbia acquisito alla fine del corso mostrando una certa scioltezza nell'esposizione degli argomenti.</p> <p>A valle della prova orale, il punteggio finale ottenuto nella prova scritta verrà:</p> <p>-Incrementato fino ad un massimo di tre punti se lo studente dimostra di aver acquisito pienamente le competenze di cui ai punti 4) e 5);</p> <p>-Decrementato fino ad un massimo di tre punti se lo studente non dimostra di aver acquisito pienamente le competenze di cui ai punti 4) e 5).</p> <p>L'esame si intende superato qualora a valle della prova orale lo studente abbia conseguito una valutazione minima di 18/30. Inoltre allo studente che otterrà un punteggio finale strettamente superiore a 30/30 verrà concessa la lode.</p> |
| <b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>            | <p>Gli obiettivi del corso sono quelli dello studio dei sistemi reali mediante un approccio basato su di un modello matematico del sistema stesso. Tale modello viene utilizzato sia per valutare il comportamento dinamico e a regime mediante simulazione su PC in ambiente software dedicato, usualmente l'ambiente Matlab-Simulink, sia per definire e valutare importanti aspetti del comportamento del sistema reale stesso a partire dalla definizione e dallo studio di certe proprietà del modello, fra le quali rivestono fondamentale interesse la stabilità, la controllabilità, l'osservabilità, il comportamento a regime permanente e quello transitorio. Il modello matematico viene anche utilizzato per la progettazione di un controllore da associare al sistema reale in modo che l'intero sistema sia in grado di conseguire prefissate prestazioni.</p>                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b> | <p>Lezioni frontali, esercitazioni in aula, esercitazioni con l'ausilio di Matlab-Simulink.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>TESTI CONSIGLIATI</b>              | <p>- Bolzern-Scattolini-Schiavoni, Fondamenti di controlli automatici 4/ed, McGraw Hill, 2008, ISBN: 9788838668821;</p> <p>- Victor Manuel Hernández-Guzmán Ramón Silva-Ortigoza, Automatic Control with Experiments, Springer, 2019, ebook ISBN: 978-3-319-75804-6;</p> <p>- Appunti forniti dal docente.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

## PROGRAMMA

| ORE | Lezioni                                                                                       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3   | Introduzione al corso; Modellistica                                                           |
| 3   | Studio di modelli lineari e tempo-invarianti nel dominio del tempo                            |
| 2   | Linearizzazione, discretizzazione e stabilità di Lyapunov                                     |
| 2   | Studio dei modelli lineari tempo invarianti tempo discreto                                    |
| 2   | Studio di modelli lineari e tempo-invarianti nel dominio di Laplace                           |
| 6   | Proprietà dei modelli: raggiungibilità, osservabilità e stabilità                             |
| 3   | Analisi della stabilità mediante funzioni quadratiche e LMI                                   |
| 5   | Risposta in frequenza, legami globali                                                         |
| 4   | Sistemi di controllo a catena aperta e a catena chiusa                                        |
| 2   | Criterio di Nyquist                                                                           |
| 4   | Comportamento in regime permanente e transitorio dei sistemi di asservimento e di regolazione |
| 3   | Progetto di controllori basato su reti di correzione nel dominio della frequenza              |
| 3   | Controllori PID                                                                               |
| 3   | Cenni sul luogo delle radici e progetto di controllori nel dominio di Laplace                 |
| 4   | Sintesi con retroazione dalla stato ed LQR                                                    |
| 4   | Osservatori asintotici dello stato. Controllo con retroazione dall'uscita.                    |
| 3   | Osservatori di Luenberger                                                                     |

| ORE | Esercitazioni                                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3   | Modellistica                                                                                    |
| 4   | Studio di modelli lineari e tempo-invarianti nei domini del tempo, di Laplace e della frequenza |
| 2   | Proprietà dei modelli: controllabilità, osservabilità e stabilità                               |
| 2   | Criterio di Nyquist                                                                             |
| 2   | Comportamento in regime permanente e transitorio dei sistemi di asservimento e di regolazione   |
| 3   | Progetto di controllori basato su reti di correzione nel dominio della frequenza                |
| 2   | Progetto di controllori di tipo PID                                                             |
| 3   | Progetto di controllori basato su reti di correzione nel dominio di Laplace                     |
| 2   | Progetto di controllori con retroazione dall'uscita                                             |
| 2   | Generazione di codice di produzione con simulink e embedded coder                               |