



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

|                                                  |                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DIPARTIMENTO                                     | Ingegneria                                                                                                                                                                                                               |
| ANNO ACCADEMICO OFFERTA                          | 2022/2023                                                                                                                                                                                                                |
| ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE                       | 2023/2024                                                                                                                                                                                                                |
| CORSO DILAUREA                                   | INGEGNERIA ELETTRONICA                                                                                                                                                                                                   |
| INSEGNAMENTO                                     | DYNAMIC SYSTEMS IDENTIFICATION AND FILTERING                                                                                                                                                                             |
| TIPO DI ATTIVITA'                                | D                                                                                                                                                                                                                        |
| AMBITO                                           | 10432-A scelta dello studente                                                                                                                                                                                            |
| CODICE INSEGNAMENTO                              | 21981                                                                                                                                                                                                                    |
| 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                                       | ESTIMATION, FILTERING AND SYSTEM IDENTIFICATION - Corso: CYBER-PHYSICAL SYSTEMS ENGINEERING FOR INDUSTRY<br>ESTIMATION, FILTERING AND SYSTEM IDENTIFICATION - Corso: INGEGNERIA DEI SISTEMI CIBER-FISICI PER L'INDUSTRIA |
| ANNO DI CORSO                                    | 2                                                                                                                                                                                                                        |
| PERIODO DELLE LEZIONI                            | 1° 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)                                         |

**DOCENTE:** Prof. ANTONINO SFERLAZZA

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PREREQUISITI</b>                      | Analisi matematica, Controlli automatici, analisi dei segnali, Geometria.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b> | <p>Conoscenza e capacita' di comprensione:<br/>Processi stocastici e variabili aleatorie, momenti di primo e secondo ordine, Algoritmi di Stima, BLUE, MINIMA VARIANZA, GAUSS-Markov, Stima alla massima verosimiglianza, metodo dei Minimi Quadrati. Metodi di identificazione, filtraggio ottimo e stima di sistemi modellabili tramite processi stocastici.</p> <p>Conoscenza e capacita' di comprensione applicate:<br/>Dato un sistema stocastico progettare un filtraggio ottimo per la stima e/o predizione delle variabili di uscita.<br/>Dato un sistema dinamico con modello noto, ma a parametri non noti, progettare un esperimento di identificazione che permetta di stimare i parametri incogniti del modello.<br/>Dato un sistema incognito, progettare un esperimento di identificazione, mediante la scelta delle variabili di ingresso opportune e alla misura delle variabili di uscita.<br/>Dato un'insieme di dati incognito, determinazione del miglior modello parametrico o non parametrico che spiega i dati sulla base della teoria della identificazione e della stima.</p> <p>Autonomia di giudizio<br/>Lo studente dovra' essere in grado di generalizzare le tecniche e i concetti acquisiti e stabilirne le relazioni con i quelli introdotti nelle discipline a questa correlate.</p> <p>Abilita' comunicative<br/>Lo studente avra' acquisito la capacita' di esporre con coerenza e proprieta' di linguaggio le problematiche inerenti gli argomenti del corso, sapendo cogliere le connessioni con gli argomenti trattati nei corsi frequentati in precedenza.</p> <p>Capacita' di apprendere<br/>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 acquisira' tale metodologia di studio sara' sicuramente in grado di proseguire gli studi di ingegneria con maggiore autonomia e con maggiore profitto.</p>                                                                                                                                                                   |
| <b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>    | <p>Per valutare l'apprendimento gli studenti faranno un test finale orale e un elaborato da svolgere in maniera individuale e discutere durante una prova orale.</p> <p>Ciascuna di queste due prove e' valutata in 30/30 e il voto e' la media dei 2. Il voto minimo per superare ciascuna prova e' 16/30. ma il voto finale deve essere superiore a 18/30.</p> <p>VOTO da 28 a 30 - 30 e lode</p> <p><b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO</b> Livello complessivo: ottimo/eccellente.<br/>Lo studente dimostra di aver raggiunto la maggior parte/tutti i risultati di apprendimento previsti per il corso, come di seguito elencati.<br/><b>CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPRENSIONE</b> Ottima/eccellente conoscenza e padronanza degli argomenti del corso<br/><b>CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE</b> Ottima/eccellente capacita' di applicazione delle proprie conoscenze per l'analisi e la soluzione dei problemi proposti, con alto grado di autonomia, efficacia e con elementi di originalita.<br/><b>AUTONOMIA DI GIUDIZIO</b><br/><b>ABILITA' COMUNICATIVE</b><br/><b>CAPACITA' D'APPRENDIMENTO</b> Elevate/eccellenti capacita' logiche e analitiche per orientarsi e formulare giudizi, anche in presenza di informazioni parziali su problematiche/applicazioni, anche complesse, riguardanti ambiti disciplinari o interdisciplinari ad essi correlati.<br/>Piene/eccellenti capacita' espositive e di argomentazione, ottima/eccellente chiarezza e proprieta' di linguaggio.<br/>Efficaci e articolate capacita' di rielaborazione delle conoscenze acquisite e di collegamento multidisciplinare, a testimonianza di una piena capacita' di intraprendere studi successivi o affrontare l'attivita' professionale con alto grado di autonomia.</p> <p>VOTO da 24 a 27</p> <p><b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO</b> Livello complessivo: buono.<br/>Lo studente dimostra di aver raggiunto la maggior parte/tutti i risultati di apprendimento previsti per il corso, come di seguito elencati.<br/><b>CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPRENSIONE</b> Buona conoscenza e padronanza degli argomenti del corso, con pochi e non significativi errori,</p> |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <p>inesattezze o omissioni</p> <p><b>CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRESIONE</b> Buone capacita' di applicazione delle proprie conoscenze per l'analisi e la soluzione dei problemi proposti, con adeguata autonomia ed efficacia.</p> <p><b>AUTONOMIA DI GIUDIZIO</b></p> <p><b>ABILITA' COMUNICATIVE</b></p> <p><b>CAPACITA' D'APPRENDIMENTO</b> Buone/soddisfacenti capacita' logiche e analitiche per orientarsi e formulare giudizi su problematiche/applicazioni, riguardanti ambiti disciplinari o interdisciplinari ad essi correlati.</p> <p>Buone capacita' espositive e di argomentazione, buona chiarezza e proprieta' di linguaggio.</p> <p>Buone/soddisfacenti capacita' di rielaborazione delle conoscenze acquisite e di collegamento multidisciplinare, a testimonianza di una adeguata capacita' di intraprendere studi successivi o affrontare l'attivita' professionale in modo autonomo.</p> <p><b>VOTO</b> da 18 a 23</p> <p><b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO</b> Livello complessivo: discreto/sufficiente. Lo studente dimostra di aver raggiunto la maggior parte/tutti i risultati di apprendimento previsti per il corso, come di seguito elencati.</p> <p><b>CONOSCENZA E CAPACITA' DI COMPRESIONE</b> Sufficiente/discreta conoscenza e padronanza degli argomenti del corso, anche se con alcuni errori, inesattezze o lacune</p> <p><b>CAPACITA' DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRESIONE</b> Sufficiente/discreta capacita' di applicazione delle proprie conoscenze per l'analisi e la soluzione dei problemi proposti, anche se con limitata autonomia ed efficacia.</p> <p><b>AUTONOMIA DI GIUDIZIO</b></p> <p><b>ABILITA' COMUNICATIVE</b></p> <p><b>CAPACITA' D'APPRENDIMENTO</b> Accettabili capacita' logiche e analitiche per orientarsi e formulare giudizi anche se incerti, parzialmente guidati e limitatamente a tematiche e applicazioni in ambito disciplinare.</p> <p>Sufficienti/discrete capacita' espositive e di argomentazione, chiarezza e proprieta' di linguaggio.</p> <p>Accettabili capacita' di rielaborazione delle conoscenze acquisite e di collegamento multidisciplinare, che, se pur con qualche limite, possono consentire di affrontare gli studi successivi o l'attivita' professionale in modo sufficientemente autonomo.</p> |
| <b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>            | Imparare tecniche di filtraggio ottimo per sistemi stocastici. Imparare a determinare un modello matematico a partire dai dati sperimentali misurati sul sistema.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b> | La didattica si svolge in lezioni frontali, esercitazioni in aula, esercitazioni con l'ausilio di Matlab-Simulink. Il metodo consiste nel far sì che gli studenti possano immediatamente e autonomamente testare e provare gli argomenti appena spiegati.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>TESTI CONSIGLIATI</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- L. Ljung, System Identification - Theory For the User, 1999, Pearson College Div. ISBN: 0136566952.</li> <li>- Appunti del corso del Prof. Garulli, DII, Siena (<a href="http://control.dii.unisi.it/iead/Dispense_v2.1.pdf">http://control.dii.unisi.it/iead/Dispense_v2.1.pdf</a>).</li> <li>- G. Pillonetto, T. Chen, A. Chiuso, G. De Nicolao, L. Ljung Regularized System Identification - Learning Dynamic Models from Data, 2022, Springer. ISBN 978-3-030-95859-6. (open access book)</li> <li>- S. Bittanti, Identificazione dei modelli e sistemi adattativi, 2003/5, Pitagora. ISBN: 8837112009.</li> <li>- S. Bittanti: Teoria della predizione e del filtraggio, 2002/6, Pitagora. ISBN: 8837110928.</li> <li>- T. Soderstrom, P. Stoica, System Identification, 1989, Pentice Hall. ISBN: 0138812365</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

### PROGRAMMA

| ORE | Lezioni                                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 5   | Introduzione al corso. Richiami su variabili aleatorie e teoria delle probabilità |
| 5   | Processi stocastici: definizioni e proprieta', esempi di processi stocastici      |
| 3   | Analisi in frequenza                                                              |
| 3   | Modelli lineari di processi stocastici                                            |
| 3   | Introduzione alla teoria della stima                                              |
| 3   | Stima parametrica, stimatore ai minimi quadrati e stimatore di Gauss-Markov       |
| 2   | Stima a massima verosimiglianza                                                   |
| 4   | Stima Bayesiana e stima a minimo errore quadratico medio                          |
| 4   | Filtraggio ottimo, filtro di Wiener FIR, predittore di Wiener FIR                 |
| 4   | Fattorizzazione spettrale e predittore di Wiener IIR                              |
| 5   | Filtro di Kalman e filtro di Kalman esteso                                        |

## PROGRAMMA

| ORE | Lezioni                                                                                                                                       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7   | Identificazione dei modelli: approccio black box                                                                                              |
| 4   | Identificazione parametrica                                                                                                                   |
| 3   | Stima ricorsiva di modelli di regressione lineare                                                                                             |
| ORE | Esercitazioni                                                                                                                                 |
| 26  | Esercizi e esempi sugli argomenti trattati. Esercitazioni con Matlab. Uso dell'Identification toolbox di matlab. Uso dell'Optimtool di Matlab |