

## DIDATTICA EROGATA 2024/2025

### Ingegneria gestionale e dell'automazione (LM-32)

**Dipartimento:** INGEGNERIA CIVILE, INFORMATICA E DELLE TECNOLOGIE AERONAUTICHE  
**Codice CdS:** 108654

#### INSEGNAMENTI

#### Primo anno

#### Primo semestre

##### 20810531 - ADVANCED PROJECT MANAGEMENT ( - ING-INF/04 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

*Curricula:* Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	54	Bando	

##### 20801686 - BASI DI DATI ( - ING-INF/05 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

*Curricula:* Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20801686 BASI DI DATI in Ingegneria Informatica e dell'Intelligenza Artificiale L-8 ATZENI PAOLO	27	
<b>Mutuato da:</b> 20801686 BASI DI DATI in Ingegneria Informatica e dell'Intelligenza Artificiale L-8 MERALDO PAOLO	27	
<b>Mutuato da:</b> 20801686 BASI DI DATI in Ingegneria Informatica e dell'Intelligenza Artificiale L-8 ATZENI PAOLO	27	
<b>Mutuato da:</b> 20801686 BASI DI DATI in Ingegneria Informatica e dell'Intelligenza Artificiale L-8 MERALDO PAOLO	27	

##### 20810208 - Decision Support Systems and Analytics ( - MAT/09 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

*Curricula:* Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
NICOSIA GAIA	54	Carico didattico	

##### 20810399 - ECONOMIA E STRATEGIA AZIENDALE ( - ING-IND/35 - 9 CFU - 81 ore - ITA )

*Curricula:* Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	81	Bando	
Da assegnare	81	Bando	

##### 20801761 - ELEMENTI DI ORGANIZZAZIONE ( - ING-INF/04 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

*Curricula:* Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	54	Bando	
Da assegnare	54	Bando	

##### 20810322 - Intelligenza artificiale e machine learning ( - ING-INF/05 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MICARELLI ALESSANDRO	32	Carico didattico	
SANSONETTI GIUSEPPE	22	Carico didattico	

**20801715 - MACCHINE E AZIONAMENTI ELETTRICI** ( - ING-IND/32 - 9 CFU - 81 ore - ITA )

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20801715 MACCHINE E AZIONAMENTI ELETTRICI in Ingegneria aeronautica LM-20 LIDOZZI ALESSANDRO	72	

**20810534 - MISURE E TECNOLOGIE DEI CONTROLLI** ( - ING-IND/32 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	54	Bando	

**20802112 - SIMULAZIONE DI PROCESSI INDUSTRIALI E LOGISTICI** ( - ING-INF/04 - 9 CFU - 81 ore - ITA )

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ADACHER LUDOVICA	81	Affidamento di incarico retribuito	N0

**20801961 - SISTEMI OPERATIVI** ( - ING-INF/05 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20801961 SISTEMI OPERATIVI in Ingegneria Informatica e dell'Intelligenza Artificiale L-8 IANNUCCI STEFANO	54	

**20810528 - TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO** ( - ING-INF/04 - 9 CFU - 81 ore - ITA )

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GASPARRI ANDREA	81	Carico didattico	

**Secondo semestre**

**20810400 - ADVANCED CONTROL SYSTEMS** ( - ING-INF/04 - 6 CFU - 54 ore - ITA )

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LIPPI MARTINA	30	Carico didattico	
CAVONE GRAZIANA	24	Affidamento di incarico retribuito	

**20810532 - BUSINESS AND OPERATION MANAGEMENT** ( - ING-IND/35 - 9 CFU - 81 ore - ITA )

**Curricula:** Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	81	Bando	

**20810529 - Cybersecurity for Industrial IoT and Critical Infrastructures ( - ING-INF/04 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

*Curricula: Automazione dei sistemi complessi - Gestionale*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PANZIERI STEFANO	39	Carico didattico	
PANZIERI STEFANO	15	Affidamento di incarico retribuito	

**20801966 - GESTIONE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE ( - ING-INF/04 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

*Curricula: Automazione dei sistemi complessi - Gestionale*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
CAPUTO ANTONIO CASIMIRO	48	Carico didattico	
CAPUTO ANTONIO CASIMIRO	6	Affidamento a titolo gratuito	

**20810205 - Imprenditorialità digitale ( - ING-INF/05 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

*Curricula: Automazione dei sistemi complessi - Gestionale*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20810205 Imprenditorialità digitale in Ingegneria informatica LM-32		
Mutuato da: 20810205 Imprenditorialità digitale in Ingegneria informatica LM-32		

**20810530 - MACROECONOMIA ( - ING-IND/35 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

*Curricula: Automazione dei sistemi complessi - Gestionale*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	54	Bando	
Da assegnare	54	Bando	

**20810158 - Model Identification and Data Analysis ( - ING-INF/04 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

*Curricula: Automazione dei sistemi complessi - Gestionale*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PASCUCCI FEDERICA	54	Carico didattico	

**20802073 - OTTIMIZZAZIONE DEI SERVIZI PUBBLICI ( - MAT/09 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

*Curricula: Automazione dei sistemi complessi - Gestionale*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
D'ARIANO ANDREA	54	Carico didattico	

**Secondo anno**

**Primo semestre**

**20810209 - Complex robotic systems laboratory ( - - 3 CFU - 27 ore - ITA )**

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GASPARRI ANDREA	27	Carico didattico	

**20801785 - CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO ( - - 1 CFU - 25 ore - ITA )**

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20801785 CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO in Ingegneria informatica LM-32 MERIALDO PAOLO	25	
<b>Mutuato da:</b> 20801785 CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO in Ingegneria informatica LM-32 MERIALDO PAOLO	25	

**20802136 - CYBER PHYSICAL SYSTEMS ( - ING-INF/04 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
CAVONE GRAZIANA	54	Carico didattico	N0

**20810210 - Laboratorio di metodi decisionali ( - - 3 CFU - 27 ore - ITA )**

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
NICOSIA GAIA	15	Affidamento a titolo gratuito	
NICOSIA GAIA	12	Carico didattico	

**20801762 - METODI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI MANAGERIALI ( - ING-INF/04 - 9 CFU - 81 ore - ITA )**

**Curricula:** Gestionale

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	81	Bando	N0

**20801784 - OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA ( - MAT/09 - 9 CFU - 81 ore - ITA )**

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PACCIARELLI DARIO	66	Carico didattico	
PACCIARELLI DARIO	15	Affidamento a titolo gratuito	

**20802143 - ROBOTICA ( - ING-INF/04 - 9 CFU - 81 ore - ITA )**

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LIPPI MARTINA	60	Carico didattico	
GASPARRI ANDREA	12	Carico didattico	
GASPARRI ANDREA	9	Affidamento di incarico retribuito	

## Secondo semestre

**20801785 - CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO ( -- 1 CFU - 25 ore - ITA )**

**Curricula:** Automazione dei sistemi complessi - Gestionale

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20801785 CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO in Ingegneria informatica LM-32 MERALDO PAOLO	25	
<b>Mutuato da:</b> 20801785 CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO in Ingegneria informatica LM-32 MERALDO PAOLO	25	

## INCARICHI DIDATTICI DEL CORSO DI LAUREA

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
ADACHER LUDOVICA	81	Affidamento di incarico retribuito	81	20802112 - SIMULAZIONE DI PROCESSI INDUSTRIALI E LOGISTICI
CAPUTO ANTONIO CASIMIRO	54	Affidamento a titolo gratuito	6	20801966 - GESTIONE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE
		Carico didattico	48	20801966 - GESTIONE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE
		Affidamento a titolo gratuito	6	20801966 - GESTIONE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE
CAVONE GRAZIANA	78	Affidamento di incarico retribuito	24	20810400 - ADVANCED CONTROL SYSTEMS
		Carico didattico	54	20802136 - CYBER PHYSICAL SYSTEMS
D'ARIANO ANDREA	54	Carico didattico	54	20802073 - OTTIMIZZAZIONE DEI SERVIZI PUBBLICI
		Carico didattico	54	20802073 - OTTIMIZZAZIONE DEI SERVIZI PUBBLICI
GASPARRI ANDREA	129	Carico didattico	27	20810209 - Complex robotic systems laboratory
		Carico didattico	12	20802143 - ROBOTICA
		Affidamento di incarico retribuito	9	20802143 - ROBOTICA
		Carico didattico	81	20810528 - TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO
LIPPI MARTINA	90	Carico didattico	30	20810400 - ADVANCED CONTROL SYSTEMS
		Carico didattico	60	20802143 - ROBOTICA
MICARELLI ALESSANDRO	32	Carico didattico	32	20810322 - Intelligenza artificiale e machine learning
		Carico didattico	32	20810322 - Intelligenza artificiale e machine learning
NICOSIA GAIA	81	Carico didattico	54	20810208 - Decision Support Systems and Analytics
		Affidamento a titolo gratuito	15	20810210 - Laboratorio di metodi decisionali
		Carico didattico	12	20810210 - Laboratorio di metodi decisionali
		Affidamento a titolo gratuito	15	20810210 - Laboratorio di metodi decisionali
PACCIARELLI DARIO	81	Affidamento a titolo gratuito	15	20801784 - OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA
		Carico didattico	66	20801784 - OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA
PANZIERI STEFANO	54	Carico didattico	39	20810529 - Cybersecurity for Industrial IoT and Critical Infrastructures
		Affidamento di incarico retribuito	15	20810529 - Cybersecurity for Industrial IoT and Critical Infrastructures
		Carico didattico	39	20810529 - Cybersecurity for Industrial IoT and Critical Infrastructures
		Affidamento di incarico retribuito	15	20810529 - Cybersecurity for Industrial IoT and Critical Infrastructures
PASCUCCI FEDERICA	54	Carico didattico	54	20810158 - Model Identification and Data Analysis
		Carico didattico	54	20810158 - Model Identification and Data Analysis
SANSONETTI GIUSEPPE	22	Carico didattico	22	20810322 - Intelligenza artificiale e machine learning
		Carico didattico	22	20810322 - Intelligenza artificiale e machine learning
DOCENTE NON DEFINITO	648	Bando	54	20810531 - ADVANCED PROJECT MANAGEMENT
		Bando	81	20810532 - BUSINESS AND OPERATION MANAGEMENT
		Bando	81	20810399 - ECONOMIA E STRATEGIA AZIENDALE
		Bando	81	20810399 - ECONOMIA E STRATEGIA AZIENDALE
		Bando	54	20801761 - ELEMENTI DI ORGANIZZAZIONE
		Bando	54	20801761 - ELEMENTI DI ORGANIZZAZIONE
		Bando	54	20810530 - MACROECONOMIA
		Bando	54	20810530 - MACROECONOMIA
		Bando	81	20801762 - METODI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI MANAGERIALI
		Bando	54	20810534 - MISURE E TECNOLOGIE DEI CONTROLLI
<b>Totale ore</b>	<b>1458</b>			

## CONTENUTI DIDATTICI

### 20810400 - ADVANCED CONTROL SYSTEMS

**Docente:** CAVONE GRAZIANA

#### Italiano

##### Prerequisiti

Fondamenti di Automatica e preferibilmente Dynamics and Control of Complex Systems e Robotica

##### Programma

Introduzione ai sistemi multi-agente Ripasso di teoria delle matrici con enfasi sulla teoria di Perron-Frobenius Teoria dei grafi e teoria algebrica dei grafi Analisi di stabilità per sistemi connessi Esempi di coordinamento di sistemi multi-robot Introduzione al Model Predictive Control (MPC) e fondamenti matematici Formulazione del problema del MPC Stabilità del MPC MPC per sistemi multi-agente

##### Testi

- F. Bullo, Lectures on Network Systems, CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN #978-1986425643, 2022 - Camacho, E. F., & Bordons, C., Model Predictive control, Springer, ISBN: 978-1-85233-694-3, 2013. - Note e dispense del docente

##### Bibliografia di riferimento

- Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated. ISBN 978-3642422706 - F. Bullo, J. Cortes, and S. Martinez, Distributed Control of Robotic Networks: A Mathematical Approach to Motion Coordination Algorithms, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 2009. - M. Mesbahi and M. Egerstedt, Graph Theoretic Methods for Multiagent Networks, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2010. - Maciejowski, J., Predictive Control with Constraints, Pearson Education POD, 2002. - Rossiter, J. A., Model-Based Predictive Control: A Practical Approach, CRC Press, 2003. - Maestre, J. M., & Negenborn, R. R. (Eds.). (2014). Distributed model predictive control made easy (Vol. 69). Dordrecht, Netherlands: Springer.

##### Modalità erogazione

Testi da definire

##### Modalità di valutazione

L'esame consta di una prova orale per approfondire gli aspetti teorici del corso e di una tesina per approfondire gli aspetti pratici del corso.

#### English

##### Prerequisites

Fundamentals Of Automatic Control and possibly Dynamics and Control of Complex Systems and Robotics

##### Programme

Introduction to multi-agent systems Review of matrix theory with emphasis on Perron-Frobenius theory Graph theory and algebraic graph theory Stability analysis for connected systems Examples of coordination of multi-robot systems Introduction to Model Predictive Control and mathematical fundamentals Formulation of the MPC Problem Stability of MPC MPC for Multi-agent Systems

##### Reference books

- F. Bullo, Lectures on Network Systems, CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN #978-1986425643, 2022 - Camacho, E. F., & Bordons, C., Model Predictive control, Springer, ISBN: 978-1-85233-694-3, 2013. - Lecture notes

##### Reference bibliography

- Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated. ISBN 978-3642422706 - F. Bullo, J. Cortes, and S. Martinez, Distributed Control of Robotic Networks: A Mathematical Approach to Motion Coordination Algorithms, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 2009. - M. Mesbahi and M. Egerstedt, Graph Theoretic Methods for Multiagent Networks, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2010. - Maciejowski, J., Predictive Control with Constraints, Pearson Education POD, 2002. - Rossiter, J. A., Model-Based Predictive Control: A Practical Approach, CRC Press, 2003. - Maestre, J. M., & Negenborn, R. R. (Eds.). (2014). Distributed model predictive control made easy (Vol. 69). Dordrecht, Netherlands: Springer.

##### Study modes

-

##### Exam modes

-

### 20810400 - ADVANCED CONTROL SYSTEMS

**Docente:** LIPPI MARTINA

#### Italiano

##### Prerequisiti

Fondamenti di Automatica e preferibilmente Dynamics and Control of Complex Systems e Robotica

##### Programma

- Introduzione ai sistemi multi-agente - Ripasso di teoria delle matrici con enfasi sulla teoria di Perron-Frobenius - Teoria dei grafi e

teoria algebrica dei grafi - Analisi di stabilità per sistemi connessi - Esempi di coordinamento di sistemi multi-robot - Introduzione al Model Predictive Control (MPC) e fondamenti matematici - Formulazione del problema del MPC - Stabilità del MPC - MPC per sistemi multi-agente

### Testi

- F. Bullo, Lectures on Network Systems, CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN #978-1986425643, 2022 - Camacho, E. F., & Bordons, C., Model Predictive control, Springer, ISBN: 978-1-85233-694-3, 2013. - Note e dispense del docente

### Bibliografia di riferimento

- Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated. ISBN 978-3642422706 - F. Bullo, J. Cortes, and S. Martinez, Distributed Control of Robotic Networks: A Mathematical Approach to Motion Coordination Algorithms, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 2009. - M. Mesbahi and M. Egerstedt, Graph Theoretic Methods for Multiagent Networks, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2010. - Maciejowski, J., Predictive Control with Constraints, Pearson Education POD, 2002. - Rossiter, J. A., Model-Based Predictive Control: A Practical Approach, CRC Press, 2003. - Maestre, J. M., & Negenborn, R. R. (Eds.). (2014). Distributed model predictive control made easy (Vol. 69). Dordrecht, Netherlands: Springer.

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

L'esame consta di una prova orale per approfondire gli aspetti teorici del corso e di una tesina per approfondire gli aspetti pratici del corso.

## English

### Prerequisites

Fundamentals Of Automatic Control and possibly Dynamics and Control of Complex Systems and Robotics

### Programme

- Introduction to multi-agent systems - Review of matrix theory with emphasis on Perron-Frobenius theory - Graph theory and algebraic graph theory - Stability analysis for connected systems - Examples of coordination of multi-robot systems - Introduction to Model Predictive Control and mathematical fundamentals - Formulation of the MPC Problem - Stability of MPC - MPC for Multi-agent Systems

### Reference books

- F. Bullo, Lectures on Network Systems, CreateSpace Independent Publishing Platform, ISBN #978-1986425643, 2022 - Camacho, E. F., & Bordons, C., Model Predictive control, Springer, ISBN: 978-1-85233-694-3, 2013. - Lecture notes

### Reference bibliography

- Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated. ISBN 978-3642422706 - F. Bullo, J. Cortes, and S. Martinez, Distributed Control of Robotic Networks: A Mathematical Approach to Motion Coordination Algorithms, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 2009. - M. Mesbahi and M. Egerstedt, Graph Theoretic Methods for Multiagent Networks, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2010. - Maciejowski, J., Predictive Control with Constraints, Pearson Education POD, 2002. - Rossiter, J. A., Model-Based Predictive Control: A Practical Approach, CRC Press, 2003. - Maestre, J. M., & Negenborn, R. R. (Eds.). (2014). Distributed model predictive control made easy (Vol. 69). Dordrecht, Netherlands: Springer.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20810209 - Complex robotic systems laboratory

**Docente:** GASPARRI ANDREA

## Italiano

### Prerequisiti

Nessuno

### Programma

1. Introduzione al sistema operativo robot (ROS) 2. Architettura ROS: Nodes, Messages, Topics, Services e Parameters 3. Ambiente di simulazione Gazebo 4. Cinematica del robot con azionamento differenziale 5. Strumenti della GUI ROS (Rviz e Rqt) 6. Stack di navigazione

### Testi

Testo Principale - Lentin Joseph. 2018. Robot Operating System for Absolute Beginners. Apress, USA. Testo Suggesto - Lentin Joseph and Jonathan Cacace. 2018. Mastering ROS for Robotics Programming - Second Edition: Design, build, and simulate complex robots using the Robot Operating System (2nd. ed.). Packt Publishing.

### Bibliografia di riferimento

Nessuno

### Modalità erogazione

Tradizionale

## Modalità di valutazione

Valutazione progetto

## English

### Prerequisites

None

### Programme

1. An Introduction to Robot Operating System (ROS) 2. Understanding ROS Nodes, Messages, Topics, Services and Parameters 3. Understanding Gazebo Simulation Environment 4. Understanding the Differential Drive Robot Kinematics 5. Understanding the ROS GUI Tools (Rviz and Rqt) 6. Understanding the Navigation Stack

### Reference books

Course Textbook - Lentin Joseph. 2018. Robot Operating System for Absolute Beginners. Apress, USA. Recommended Textbook - Lentin Joseph and Jonathan Cacace. 2018. Mastering ROS for Robotics Programming - Second Edition: Design, build, and simulate complex robots using the Robot Operating System (2nd. ed.). Packt Publishing.

### Reference bibliography

None

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20802136 - CYBER PHYSICAL SYSTEMS

**Docente:** CAVONE GRAZIANA

## Italiano

### Prerequisiti

Pur non essendoci alcuna propedeuticità per questo corso, è fortemente consigliato che lo studente abbia conoscenze di base di sistemi di controllo, elaborazione dei segnali, sistemi operativi e reti di calcolatori.

### Programma

- Introduzione ai CPS: applicazioni e sistemi - Modelli per i CPS - Sistemi di comunicazione per i CPS: standards, comunicazione wireless e tecnologie correlate - Sistemi in tempo reale - Sistemi di fusione sensoriale avanzati: tecniche di inferenza - Sistemi di fault diagnosis: detection-isolation-identification di anomalie basate sul modello - Sistemi di identificazione di attacchi cyber basati sul modello del sistema: attacchi evoluti a CPS

### Testi

Dispense del docente Articoli scientifici

### Bibliografia di riferimento

'Model-based fault diagnosis techniques. Design schemes, Algorithms, and Tools'. Steven X. Ding, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008

### Modalità erogazione

Il corso viene erogato attraverso lezioni frontali classiche e attività di esercitazione in aula e in laboratorio su problemi di definizione e progettazione di sistemi Cyber Physical.

### Modalità di valutazione

Prova scritta Prova orale Valutazione progetto Valutazione in itinere

## English

### Prerequisites

No prerequisites are needed for this course, but it is preferable that the student has knowledge of control systems, signals elaboration, operative systems, and computer networks.

### Programme

- Introduction to CPS: applications and evolution - Modeling CPS - Communication standards and technologies for CPS - Real time system - Advanced data fusion model: inference techniques - Fault diagnosis: model based detection-isolation-identification of anomalies - Model based anomaly detection for cyber attacks

### Reference books

Notes of the course Scientific papers

### Reference bibliography

'Model-based fault diagnosis techniques. Design schemes, Algorithms, and Tools'. Steven X. Ding, Springer-Verlag Berlin Heidelberg,

2008

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20802136 - CYBER PHYSICAL SYSTEMS

**Canale:**N0

**Docente:** CAVONE GRAZIANA

### Italiano

#### Prerequisiti

Pur non essendoci alcuna propedeuticità per questo corso, è fortemente consigliato che lo studente abbia conoscenze di base di sistemi di controllo, elaborazione dei segnali, sistemi operativi e reti di calcolatori.

#### Programma

- Introduzione ai CPS: applicazioni e sistemi - Modelli per i CPS - Sistemi di comunicazione per i CPS: standards, comunicazione wireless e tecnologie correlate - Sistemi in tempo reale - Sistemi di fault diagnosis: detection-isolation-identification di anomalie basate sul modello - Sistemi di identificazione di attacchi cyber basati sul modello del sistema: attacchi evoluti a CPS

#### Testi

Dispense del docente Articoli scientifici

#### Bibliografia di riferimento

'Model-based fault diagnosis techniques. Design schemes, Algorithms, and Tools'. Steven X. Ding, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008

#### Modalità erogazione

Il corso viene erogato attraverso lezioni frontali classiche e attività di esercitazione in aula e in laboratorio su problemi di definizione e progettazione di sistemi Cyber Physical.

#### Modalità di valutazione

Prova scritta Prova orale Valutazione progetto Valutazione in itinere

### English

#### Prerequisites

No prerequisites are needed for this course, but it is preferable that the student has knowledge of control systems, signals elaboration, operative systems, and computer networks.

#### Programme

- Introduction to CPS: applications and evolution - Modeling CPS - Communication standards and technologies for CPS - Real time system - Fault diagnosis: model based detection-isolation-identification of anomalies - Model based anomaly detection for cyber attacks

#### Reference books

Notes of the course Scientific papers

#### Reference bibliography

'Model-based fault diagnosis techniques. Design schemes, Algorithms, and Tools'. Steven X. Ding, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20810529 - Cybersecurity for Industrial IoT and Critical Infrastructures

**Docente:** PANZIERI STEFANO

### Italiano

#### Prerequisiti

nessun prerequisito

#### Programma

Interdipendenza e complessità nei sistemi infrastrutturali e nella gestione delle emergenze. Valutazione del rischio interconnesso. CISIApro 2.0. Direttiva NIS. Sale Controllo. GDPR/ Perimetro Digitale. Introduzione all'Analisi del Rischio in sistemi interdipendenti. Modellazione MHR. Reti Complesse. Vulnerabilità sistemi di controllo industriali. Vulnerabilità dei protocolli. Attacchi informatici a

sistemi di controllo industriale. Smart Behavioral Filter. Hands-on ICS Decision Support Systems. Building Automation Systems. Smart Cities. IoT Introduzione. IoT Database. Distribuzione Energia Elettrica. Rete Idrica. Sistemi per il monitoraggio delle reti industriali. IoT Cloud

### Testi

Appunti del docente

### Bibliografia di riferimento

Critical Infrastructure: Homeland Security and Emergency Preparedness, Fourth Edition. CRC Press; 4° edizione (31 marzo 2021)

### Modalità erogazione

Lezioni in presenza in aula. Saranno messe a disposizione registrazioni relative agli anni precedenti.

### Modalità di valutazione

Prova orale, valutazione progetto.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Interdependency and complexity within infrastructural systems and in emergency management. CISIApro 2.0. NIS directive. Control rooms. GDPR. Introduction to risk analysis in interdependent systems. MHR modelling. Complex networks. Vulnerability of industrial control systems. Cyber attacks to ICS. Smart Behavioral Filter. Hands-on ICS. Decision Support Systems. Building Automation Systems. Smart Cities. Introduction to IoT. IoT Database. IoT Cloud.

#### Reference books

Notes of the professor

#### Reference bibliography

Critical Infrastructure: Homeland Security and Emergency Preparedness, Fourth Edition. CRC Press; 4° edizione (31 marzo 2021)

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20810208 - Decision Support Systems and Analytics

**Docente:** NICOSIA GAIA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nozioni di base di Ricerca Operativa

#### Programma

- Panoramica sui sistemi di supporto alle decisioni (DSS). Model Driven DSS. - Richiami di modellazione (esempi di formulazioni PL, PLI e PNL). Cenni alla complessità computazionale. - Generalità su Business Analytics. Predictive analytics, alberi di classificazione ottimi, esempi. Prescriptive analytics. - Algoritmi euristici: Euristiche Costruttive, Ricerca Locale, Ricerca Locale a profondità variabile, Tabu Search, Simulated Annealing, Algoritmi Genetici, GRASP, Iterated Local Search, Variable Neighborhood Search, Guided Local Search, Ant Colony Optimization, PSO, Scatter Search, Path relinking... - Ottimizzazione robusta. - Studio di casi reali: (1) ottimizzazione dei flussi nella distribuzione di cibi surgelati dagli impianti di produzione ai rivenditori, (2) ottimizzazione dei turni del personale sanitario nei reparti ospedalieri, (3) ottimizzazione dei percorsi per la raccolta di materiale biologico per analisi di laboratorio, (4) gestione ottima del magazzino di un'azienda che si occupa di vendite online, (5) ottimizzazione della supply chain nel mondo della moda.

#### Testi

1. Modelli e metodi decisionali in condizioni di incertezza e rischio, di G. Ghiani, R. Musmanno (a cura di), McGraw-Hill Education, 2009.
2. Slide e materiale didattico fornito dal docente

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni principalmente di didattica frontale sia alla lavagna sia con slide proiettate. Analisi di alcuni casi di studio.

#### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova scritta della durata di circa 2 ore. Lo scritto è organizzato attraverso un certo numero di domande, finalizzate a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in contesti reali. La prova scritta sarà integrata o con una prova orale o con lo svolgimento di un progetto da svolgere in laboratorio sotto la guida del docente.

### English

## Prerequisites

Operations Research basics

## Programme

Overview on decision making and Decision Support Systems (DSS). Model Driven DSS. Mathematical modeling (examples of LP, ILP, and NLP formulations). Basics on computational complexity. Introduction to Business Analytics. Predictive analytics, optimal classification trees, examples. Prescriptive analytics. Heuristic algorithms: constructive heuristics, local search, variable depth local search, Tabu Search, Simulated Annealing, genetic algorithms, GRASP, Iterated Local Search, Variable Neighborhood Search, Guided Local Search, Ant Colony Optimization, PSO, Scatter Search, Path relinking... Robust Optimization. Study of real world cases (optimization of the flows in the distribution of frozen food, optimization of staff shifts in hospital departments, optimal routing for the collection of material for laboratory analysis, optimal management of the warehouse of a company that deals with online sales, ....).

## Reference books

1. Modelli e metodi decisionali in condizioni di incertezza e rischio, di G. Ghiani, R. Musmanno (a cura di), McGraw-Hill Education, 2009.
2. Slides e notes given by the lecturer

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20801966 - GESTIONE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE

**Docente:** CAPUTO ANTONIO CASIMIRO

## Italiano

### Prerequisiti

Non ci sono prerequisiti

### Programma

Il sistema azienda: struttura, obiettivi, funzioni aziendali, le tipologie di struttura organizzativa. Classificazione dei sistemi di produzione. Le misure di prestazione dei sistemi di produzione. Rappresentazione e mappatura dei processi di produzione. Tecniche per la stima delle prestazioni dei sistemi produttivi. Legami tra WIP, Throughput e Tempo di attraversamento ed influenza della variabilità. Approcci alla diagnostica e miglioramento delle prestazioni dei sistemi manifatturieri. Il dimensionamento dei lotti di produzione (lotto economico di produzione ed estensione al caso multiprodotto). La produzione per campagne (determinazione del numero ottimale di campagne e della loro durata ottimale). Effetto della dimensione dei lotti sul tempo di attraversamento. La previsione della domanda. Gli elementi che caratterizzano la domanda e la sua variabilità (fluttuazioni random, trend, stagionalità e ciclicità). Tecniche previsionali qualitative e quantitative. Metodi causali basati su regressione lineare. Metodi basati su serie storiche (media mobile, media mobile pesata, media con smorzamento esponenziale con e senza trend). Metodi di stima della domanda stagionale. Criteri di stima degli errori di previsione (CFE, MAPE, MAD, TS). La previsione di domanda per i nuovi prodotti (stime della dimensione del mercato e modello di Bass). Pianificazione, programmazione e controllo della produzione. Analisi P-Time e D-Time, la legge di Little. Logiche di gestione Push e Pull. Produzione a magazzino (Make to Stock) e produzione su commessa (Assemble to Order, Make to Order ed Engineering to Order). Gerarchia delle fasi di pianificazione, programmazione e controllo e le loro interazioni con le decisioni strategiche e la pianificazione della capacità produttiva. Pianificazione aggregata. Criteri di adeguamento della capacità produttiva alla domanda. Metodi empirici (piani zero-inventory, piani level work force, piani misti) e modelli di ottimizzazione LP per la redazione del piano aggregato. Il Piano Principale di Produzione. Criteri per la disaggregazione del piano aggregato e redazione del Piano principale di Produzione. La gestione della distinta base. Piano principale di produzione MTS E ATO. Programmazione di medio periodo e pianificazione dei fabbisogni. Il metodo MRPI e II. La verifica di capacità (Capacity Requirements Planning). Criteri di lottizzazione dei fabbisogni. Stima capacità Available to Promise. Limiti e vincoli del sistema MRP. Programmazione operativa. I piani operativi di produzione ed il Final Assembly Schedule. Criteri operativi e tecniche euristiche per lo scheduling delle risorse e l'assegnazione delle priorità. Sequencing di linee di produzione multimodel e mixed model. Il controllo avanzamento della produzione. Sistemi di produzione pull. Il sistema Kanban, il livellamento della produzione ed il sequencing di linee mixed model. Il sistema CONWIP. Confronto prestazionale tra sistemi push e pull. Richiami di gestione delle scorte. Funzione e criteri di classificazione delle scorte. I costi rilevanti nella gestione delle scorte. I materiali a domanda dipendente e indipendente. La gestione dei materiali a domanda indipendente: lotto economico con consegne istantanee e graduali, lotto economico con sconti quantità, la gestione a livello di riordino e a ciclo di riordino. La gestione degli articoli a forte movimentazione (copertura totale e copertura libera). Criteri per la determinazione della scorta di sicurezza (ricerca dell'ottimo economico e valutazione del livello di servizio). I benefici della centralizzazione delle scorte. La gestione a fabbisogno, lot by lot e lotto economico dinamico. Decisioni di approvvigionamento sul singolo periodo (newsboy model). L'analisi ABC, le misure di prestazione dei magazzini (indice di rotazione, periodo di copertura, indici di efficienza del servizio).

### Testi

Dispense distribuite dal docente caricate sul sito Moodle. Testi di riferimento e consultazione (non obbligatori). Sianesi, La Gestione del Sistema di Produzione, ETAS, 2011. De Toni, Panizzolo, Sistemi di Gestione della Produzione, ISEDI, 2018.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

Prova orale eventualmente integrabile con applicazioni numeriche. Solitamente vengono poste tre domande su argomenti che coprono l'intero programma del corso.

## English

### Prerequisites

There are no prerequisites

### Programme

The industrial enterprise Organization and scope of industrial enterprise. Classification of production systems. Analysis of production processes (process mapping and performance estimation). Little's law. Impact of flow and process variability on main performance measures. Analysis of lot size effects on capacity, lead time and manufacturing cost. Lot sizing criteria in repetitive manufacturing. Demand forecast Analysis of demand variability components (random fluctuations, trends, seasonality). Classification of quantitative and qualitative forecasting methods. Linear regression causal models, time series methods (moving averages, exponential smoothing) and seasonal forecasting methods. Estimation of forecast error. Demand estimation for new products: market size and market penetration dynamics (Bass model). Fundamentals of production planning and control Analysis of P-Time and D-Time. Push and Pull production systems. Make to Stock, Assemble to Order, Make to Order ed Engineering to Order systems. The hierarchical production planning framework. Aggregate planning Alternatives to match production and demand. Trial and error aggregate planning methods (chase, level and mixed plans). LP models for the aggregate planning problem. Master production scheduling Criteria to disaggregate an aggregate plan and methods to develop a Master Production Schedule (MPS) based on items forecast and firm orders. Estimation of Available to Promise capacity. Difference of MPS in MTS and ATO settings. Requirements planning MRP I and II methods. Capacity Requirements Planning. Lot sizing criteria for materials requirements planning. Limitations of MRP systems. Operational planning and manufacturing execution Final Assembly Schedule and operational plans. Criteria for job release and queues control. Heuristic rules for job scheduling and priority assignment. Production advancement and control systems. Pull production systems Kanban method and production leveling techniques. Methods for sequencing mixed model assembly lines. CONWIP. Comparison of push and pull systems. Inventory management Classification and scope of inventories. Relevant costs in inventory management. Management of dependent demand materials: economic order quantity reorder cycle and reorder level policies. Service level and computation of safety stock. Benefits of safety stock pooling. Management of dependent demand items: lot by lot and dynamic lot sizing techniques. Newsboy model and single period order sizing. ABC classification and warehouse performance measures.

### Reference books

Lecture notes provided by instructor and uploaded on Moodle web site. Reference textbooks. Sianesi, La Gestione del Sistema di Produzione, ETAS, 2011. De Toni, Panizzolo, Sistemi di Gestione della Produzione, ISEDI, 2018.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20810322 - Intelligenza artificiale e machine learning

**Docente:** SANSONETTI GIUSEPPE

## Italiano

### Prerequisiti

Fondamenti di Informatica

### Programma

1. Introduzione: - Gli Agenti Intelligenti. - L'IA come "Representation and Search". 2. Risoluzione di Problemi: - Ricerca non informata (in ampiezza, guidata dal costo, in profondità, Iterative deepening). - Ricerca euristica (Best First, A\*, Heuristic Functions). - Algoritmi approssimati (Hill Climbing, Simulated Annealing, ecc.) - Ricerca in presenza di avversari (MiniMax, Alfa-Beta Pruning). - Introduzione alla Evolutionary Computation. 3. Introduzione al linguaggio Python: - Ambienti di sviluppo; Jupiter Notebook. - Python base. Strutture dati in Python. - Librerie Python: NumPy, Pandas, matplotlib, ScikitLearn. 4. Machine Learning: - Regressione (lineare semplice, multipla). - Classificazione (Logistic Regression, Decision Trees, Naive Bayes). - Clustering. - Reti Neurali Artificiali. - Reinforcement Learning. - Introduzione al Deep Learning. - Casi di studio.

### Testi

Lucidi delle lezioni.

### Bibliografia di riferimento

Stuart J. Russell, and Peter Norvig. 2021. Artificial intelligence : a modern approach (4th ed.). Pearson Education, Inc., USA.

### Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni in aula.

### Modalità di valutazione

Prova scritta e prova pratica di laboratorio.

## English

### Prerequisites

Computer Science Foundations

### Programme

1. Introduction: - Intelligent Agents. - AI as "Representation and Search". 2. Problem Solving: - Uninformed search (breadth-first search, uniform-cost search, depth-first search, Iterative deepening search). - Heuristic search (Best First search, A \*, Heuristic Functions). - Approximate algorithms (Hill Climbing, Simulated Annealing, etc.) - Adversarial Search and Games (MiniMax, Alfa-Beta Pruning). - Introduction to Evolutionary Computation. 3. Introduction to the Python language: - Development environments; Jupiter Notebook. - Python foundations. Data structures in Python. - Python libraries: NumPy, Pandas, matplotlib, ScikitLearn. 4. Machine Learning: - Regression (simple linear, multiple). - Classification (Logistic Regression, Decision Trees, Naïve Bayes). - Clustering. - Artificial Neural Networks. - Reinforcement Learning. - Introduction to Deep Learning. - Case studies.

### Reference books

Lecture slides.

### Reference bibliography

Stuart J. Russell, and Peter Norvig. 2021. Artificial intelligence : a modern approach (4th ed.). Pearson Education, Inc., USA.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20810322 - Intelligenza artificiale e machine learning

**Docente:** MICARELLI ALESSANDRO

### Italiano

#### Prerequisiti

Fondamenti di Informatica.

#### Programma

1. Introduzione: - Gli Agenti Intelligenti. - L'IA come "Representation and Search". 2. Risoluzione di Problemi: - Ricerca non informata (in ampiezza, guidata dal costo, in profondità, Iterative deepening). - Ricerca euristica (Best First, A\*, Heuristic Functions). - Algoritmi approssimati (Hill Climbing, Simulated Annealing, ecc.) - Ricerca in presenza di avversari (MiniMax, Alfa-Beta Pruning). - Introduzione alla Evolutionary Computation. 3. Introduzione al linguaggio Python: - Ambienti di sviluppo; Jupiter Notebook. - Python base. Strutture dati in Python. - Librerie Python: NumPy, Pandas, matplotlib, ScikitLearn. 4. Machine Learning: - Regressione (lineare semplice, multipla). - Classificazione (Logistic Regression, Decision Trees, Naïve Bayes). - Clustering. - Reti Neurali Artificiali. - Reinforcement Learning. - Introduzione al Deep Learning. - Casi di studio.

#### Testi

Lucidi delle lezioni.

#### Bibliografia di riferimento

Stuart J. Russell, and Peter Norvig. 2021. Artificial intelligence : a modern approach (4th ed.). Pearson Education, Inc., USA.

#### Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni in aula.

#### Modalità di valutazione

Prova scritta e prova pratica di laboratorio.

### English

#### Prerequisites

Computer Science Foundations.

#### Programme

. Introduction: - Intelligent Agents. - AI as "Representation and Search". 2. Problem Solving: - Uninformed search (breadth-first search, uniform-cost search, depth-first search, Iterative deepening search). - Heuristic search (Best First search, A \*, Heuristic Functions). - Approximate algorithms (Hill Climbing, Simulated Annealing, etc.) - Adversarial Search and Games (MiniMax, Alfa-Beta Pruning). - Introduction to Evolutionary Computation. 3. Introduction to the Python language: - Development environments; Jupiter Notebook. - Python foundations. Data structures in Python. - Python libraries: NumPy, Pandas, matplotlib, ScikitLearn. 4. Machine Learning: - Regression (simple linear, multiple). - Classification (Logistic Regression, Decision Trees, Naïve Bayes). - Clustering. - Artificial Neural Networks. - Reinforcement Learning. - Introduction to Deep Learning. - Case studies.

#### Reference books

Lecture slides.

#### Reference bibliography

Stuart J. Russell, and Peter Norvig. 2021. Artificial intelligence : a modern approach (4th ed.). Pearson Education, Inc., USA.

#### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20810210 - Laboratorio di metodi decisionali

**Docente:** NICOSIA GAIA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nozioni di base di Ricerca Operativa

#### Programma

Utilizzo di software di modellazione matematica o di altri strumenti informatici per lo sviluppo di un progetto individuale nell'ambito dei metodi decisionali

#### Testi

Per il software ampl: - <https://ampl.com/resources/the-ampl-book/> - slide del docente Per altri software: - materiale disponibile in rete

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Dopo alcune lezioni su strumenti informatici utilizzabili per lo svolgimento dei progetti e sulle tecniche per sviluppare progetti con metodo scientifico, le lezioni saranno di tipo individuale per seguire ciascuno studente in modo personalizzato.

#### Modalità di valutazione

valutazione progetto

### English

#### Prerequisites

Basics of Operations Research

#### Programme

Mathematical modelling software and/or other software for the development of an individual project in decision-making

#### Reference books

For ampl software: - <https://ampl.com/resources/the-ampl-book/> - lecturer's slides For other softwares: - notes available on the web

#### Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20810158 - Model Identification and Data Analysis

**Docente:** PASCUCCI FEDERICA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessuna propedeuticità

#### Programma

Modelli per processi aleatori stazionari - Leggi fisiche - Processo stocastico - Modelli per il filtraggio, la predizione ed il controllo: modelli input-output per serie temporali e sistemi dinamici (AR, ARMA, ARX, ARMAX) Identificazione - Identificazione a scatola nera (Minimi quadrati e metodi a massima verosimiglianza) - Selezione della descrizione a complessità minima - Cross-validazione: tecniche FPE (Final Prediction Error), AIC (Akaike Information Criterion) or MDL (Minimum Description Length) - Metodi di identificazione ricorsivi (RLS, ELS, RML). Forgetting factor Bayesian filtering - Stima di stato: filtraggio, predizione e smoothing. - Filtro di Kalman, filtro di Kalman di regime - Trasformazione unscented, filtro di Kalman Unscented Kalman - Filtri a griglia - Filtri Particle Filtraggio distribuito - Filtro a informazione - Filtro a informazione esteso

#### Testi

Sergio Bittanti, "Model Identification and Data Analysis", John Wiley and Sons Ltd

#### Bibliografia di riferimento

B.D.O. Anderson, J.B. Moore: Optimal filtering, Prentice Hall, 1979. Y. Bar-Shalom, X.R. Li, T. Kirubarajan: Estimation with applications to tracking and navigation, J. Wiley & Sons, 2001. B. Ristic, S. Arulampalam, N. Gordon: Beyond the Kalman filter: particle filters for tracking applications, Artech House, 2004.

### Modalità erogazione

Tradizionale

### Modalità di valutazione

Prova scritta, prova orale.

### English

### Prerequisites

Not applicable

### Programme

Dynamical models of stationary processes and prediction - Physical laws in engineering and science - Stochastic processes - Models for filtering, prediction and control: Input-output models for time series and dynamical systems (AR, ARMA, ARX, ARMAX) Identification - Black-box identification (Least Squares and Maximum likelihood methods) - Model complexity selection - Cross-validation, FPE (Final Prediction Error), AIC (Akaike Information Criterion) or MDL (Minimum Description Length) techniques - Recursive identification methods (RLS, ELS, RML). Adaptation via forgetting factor techniques Bayesian filtering - The state estimation problem. Filtering, prediction and smoothing. - Kalman filter, steady-state filter Extended Kalman filter - Unscented transformation, Unscented Kalman filter - Grid-based filtering - Particle filtering Distributed filtering - Information filter - Extended Information filter

### Reference books

Sergio Bittanti, "Model Identification and Data Analysis", John Wiley and Sons Ltd

### Reference bibliography

B.D.O. Anderson, J.B. Moore: Optimal filtering, Prentice Hall, 1979. Y. Bar-Shalom, X.R. Li, T. Kirubarajan: Estimation with applications to tracking and navigation, J. Wiley & Sons, 2001. B. Ristic, S. Arulampalam, N. Gordon: Beyond the Kalman filter: particle filters for tracking applications, Artech House, 2004.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20802073 - OTTIMIZZAZIONE DEI SERVIZI PUBBLICI

**Docente:** D'ARIANO ANDREA

### Italiano

### Prerequisiti

Ricerca Operativa

### Programma

Programma del Corso 1. Introduzione a Processi Decisionali Multi-Criterio nella Gestione dei Servizi Pubblici 2. Ottimizzazione nella Pianificazione e Schedulazione di Progetti 3. Programmazione Disgiuntiva: Modelli di Scheduling e Routing, Algoritmi (Meta)Euristici / Esatti 4. Sistemi di Prenotazione, Scheduling di Intervalli 5. Timetabling con Vincoli su Operatori o Strumentazione 6. Scheduling and Timetabling in Tornei Sportivi 7. Scheduling di Programmi Televisivi 8. Problemi di Trasporto: Coordinamento, Scheduling e Routing di Navi/Aerei/Treni 9. Sistemi di Supporto alle Decisioni per la Direzione delle Operazioni in Tempo Reale 10. Scheduling della Forza Lavoro: Scheduling dei Giorni Liberi, Turni, Cyclic Staffing 11. Scheduling del Personale Aereo 12. Problemi di Localizzazione Discreta 13. Gestione della Qualità dell'Acqua e dell'Aria 14. Assistenza Sanitaria

### Testi

Michael L. Pinedo (Author) "Planning and Scheduling in Manufacturing and Services", Springer Series in Operations Research, Edizione 2005 S.M. Pollock, M.H. Rothkopf, A. Barnett (Editors), "Operations Research and the Public Sector", Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 6, Edizione 1994

### Bibliografia di riferimento

MATERIALE DISPONIBILE SULLA PAGINA E-LEARNING DEL CORSO, INCLUSE DISPENSE DEL DOCENTE, SLIDES DELLE LEZIONI, E ARTICOLI SCIENTIFICI SOFTWARE DI OTTIMIZZAZIONE & TUTORIALS DISPONIBILI SULLA PAGINA MOODLE DEL CORSO

### Modalità erogazione

lezioni frontali, esercitazioni, seminari, lavoro di gruppo, analisi di casi

### Modalità di valutazione

intermedia/finale, orale/scritta

### English

### Prerequisites

Operations Research

### Programme

Course programme 1. Introduction to Multi-Criteria Decision Making for Public Service Management 2. Optimization in Project Planning and Scheduling 3. Disjunctive Programming: Scheduling and Routing Models, (Meta)Exact /Heuristic Algorithms 4. Reservations Systems and Interval Scheduling 5. Timetabling with Operator or Tooling Constraints 6. Scheduling and Timetabling in Sport Tournaments 7. Scheduling Network Television Programs 8. Transportation Problems: Tanker/Aircraft/Train Coordination, Scheduling and Routing 9. Decision Support Systems for Real-Time Dispatching of Operations 10. Workforce Scheduling: Days-Off Scheduling, Shift Scheduling, Cyclic Staffing 11. Airline Crew Scheduling 12. Discrete Location Problems 13. Water and Air Quality Management 14. Health Care Delivery

### Reference books

Michael L. Pinedo (Author) "Planning and Scheduling in Manufacturing and Services", Springer Series in Operations Research, Edition 2005 S.M. Pollock, M.H. Rothkopf, A. Barnett (Editors), "Operations Research and the Public Sector", Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 6, Edition 1994

### Reference bibliography

Material given by the professor via the e-learning page of the course, including lecture slides, scientific papers, optimization software and tutorials

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20801784 - OTTIMIZZAZIONE DELLA LOGISTICA

**Docente:** PACCIARELLI DARIO

### Italiano

#### Prerequisiti

Elementi di calcolo vettoriale (combinazione lineare, prodotto scalare) e matriciale (combinazione lineare, prodotto, determinante, inversa, rango). Derivate parziali. Programmazione Lineare: formulazione di problemi e metodi di soluzione. Programmazione a numeri interi: formulazione di problemi e metodi di soluzione. Teoria dei grafi: formulazione di problemi e metodi di soluzione.

#### Programma

1. Programmazione non lineare Gradiente, Matrice Hessiana Condizioni necessarie di minimo locale (primo e secondo ordine) Condizioni sufficienti di minimo locale (secondo ordine e caso convesso) Metodo del gradiente, algoritmi di Line search Metodo di Newton 2. Programmazione non lineare Vincolata Condizioni KKT Metodi di barrier e funzioni di penalità (cenni) 3. Logistica interna, il problema di Lot Sizing Modello EOQ Algoritmo di Wagner-Whitin Algoritmo di Zangwill 4. Job Shop Scheduling Metodi euristici, algoritmo di Nowicki-Smutnicki Metodi esatti, algoritmo di Carlier-Pinson 5. Logistica esterna, il Problema di Vehicle Routing 6. Crew Scheduling 7. Problemi di localizzazione di impianti

#### Testi

materiale a cura del docente

#### Bibliografia di riferimento

Caramia, Giordani, Guerriero, Musmanno, Pacciarelli, "Ricerca Operativa", Isedi, Italia, 2014. Sassano A., "Modelli e Algoritmi della Ricerca Operativa", Franco Angeli. Carlier J., Pinson E., "An algorithm for solving the job shop problem", Management Science, 35 (2), 164-175 (1989). Carlier J., Pinson E., "Adjustment of heads and tails for the job-shop problem", European Journal of Operational Research, 78 (2), 146-161 (1994). Brucker P., Jurisch B., Sievers B., "A branch and bound algorithm for the job scheduling shop problem", Discrete Applied Mathematics, 49, 107-127 (1994). Nowicki E., Smutnicki C., "A fast taboo search algorithm for the job shop problem", Management Science, 42 (6), 797-813 (1996). Nowicki E., Smutnicki C., "An advanced tabu search algorithm for the job shop problem", Journal of Scheduling, 8, 145-159 (2005). Il PDF è scaricabile qui da un PC di Roma Tre. Heinz Gröflin, Andreas Klinkert, "A new neighborhood and tabu search for the Blocking Job Shop", Discrete Applied Mathematics, 157 (2009), 3643-3655. Il PDF è scaricabile qui da un PC di Roma Tre. Yazid Mati and Xiaolan Xie, "Multiresource Shop Scheduling With Resource Flexibility and Blocking", IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING, in press Christoph J. Schuster, Jose M. Framinan, "Approximative procedures for no-wait job shop scheduling", Operations Research Letters, 31 (2003) 308 – 318. Il PDF è scaricabile qui da un PC di Roma Tre.

#### Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni in aula.

#### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova scritta selettiva, della durata di 90-120 minuti, e una prova orale, finalizzate a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in contesti reali. L'insegnamento prevede anche una o più prove in itinere scritte, facoltative, ciascuna consistente in uno o due esercizi e/o una o più domande di teoria articolate in punti a risposta aperta, finalizzati a verificare il livello di apprendimento dei contenuti erogati nella prima parte del corso. Il tempo previsto è di 90-120 minuti per ciascuna prova. La prova d'esame prevede una prova scritta, consistente in due esercizi obbligatori e una domanda di teoria facoltativa articolata in punti a risposta aperta. Il tempo previsto è di 90-120 minuti. La prova orale consiste in una o più domande sulla prova scritta ed eventuali domande di teoria. I testi d'esame degli ultimi anni sono disponibili sulla pagina web dell'insegnamento (<http://pacciarelli.dia.uniroma3.it/CORSI/MSP/Welcme.html>).

### English

#### Prerequisites

Basic algebraic operations between vectors (linear combination, scalar product) and matrices (linear combination, product, determinant,

inverse, rank). Partial derivatives. Linear Programming: formulations and solution methods. Integer Programming: formulations and solution methods. Graph Theory: formulations and solution methods.

## Programme

1. Non-linear programming Gradient, Hessian Local minimum, Necessary conditions (first and second order) Local minimum, Sufficient conditions (second order and convex case) Gradient method, Line search Newton method, 2. Constrained non-linear programming KKT conditions Barrier method and Penalty functions 3. Lot Sizing EOQ model Wagner-Whitin Algorithm Zangwill Algorithm 4. Job Shop Scheduling Exact methods, Carlier-Pinson Algorithm Euristic methods, Nowicki-Smutnicki Algorithm 5. Vehicle Routing Problem 6. Crew Scheduling 7. Plant Location

## Reference books

Lecture notes

## Reference bibliography

Caramia, Giordani, Guerriero, Musmanno, Pacciarelli, "Ricerca Operativa", Isedi, Italia, 2014. Sassano A., "Modelli e Algoritmi della Ricerca Operativa", Franco Angeli. Carlier J., Pinson E., "An algorithm for solving the job shop problem", Management Science, 35 (2), 164-175 (1989). Carlier J., Pinson E., "Adjustment of heads and tails for the job-shop problem", European Journal of Operational Research, 78 (2), 146-161 (1994). Brucker P., Jurisch B., Sievers B., "A branch and bound algorithm for the job scheduling shop problem", Discrete Applied Mathematics, 49, 107-127 (1994). Nowicki E., Smutnicki C., "A fast taboo search algorithm for the job shop problem", Management Science, 42 (6), 797-813 (1996). Nowicki E., Smutnicki C., "An advanced tabu search algorithm for the job shop problem", Journal of Scheduling, 8, 145-159 (2005). Il PDF è scaricabile qui da un PC di Roma Tre. Heinz Gröflin, Andreas Klinkert, "A new neighborhood and tabu search for the Blocking Job Shop", Discrete Applied Mathematics, 157 (2009), 3643-3655. Il PDF è scaricabile qui da un PC di Roma Tre. Yazid Mati and Xiaolan Xie, "Multiresource Shop Scheduling With Resource Flexibility and Blocking", IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING, in press Christoph J. Schuster, Jose M. Framinan, "Approximative procedures for no-wait job shop scheduling", Operations Research Letters, 31 (2003) 308 – 318. Il PDF è scaricabile qui da un PC di Roma Tre.

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20802143 - ROBOTICA

**Docente:** LIPPI MARTINA

### Italiano

#### Prerequisiti

Fondamenti di Automatica e preferibilmente Dynamics and Control of Complex Systems

#### Programma

Manipolatori (Capitoli del testo Siciliano et al. Robotics): - Cinematica diretta - Cinematica differenziale - Inversione cinematica - Pianificazione di traiettoria - Statica ed ellissoidi di manipolabilità - Cenni di modello dinamico - Schemi di controllo del moto - Cenni di schemi di controllo in forza Robotica mobile: - Concetti topologici di base (Capitolo 4.1, Planning Algorithms LaValle) - Corpi rigidi 2D: SE(2) (Capitolo 4.2.1, Planning Algorithms LaValle) - Campi vettoriali e curve integrali (Capitolo 8.3, Planning Algorithms LaValle) - Modelli differenziali (Capitolo 13.1, Planning Algorithms LaValle) - Controllo di sistemi affini (Capitolo 15.4, Planning Algorithms LaValle) - Controllo del moto (Capitolo 11.6, Siciliano et al. Robotics) - Sciame di robot (Capitolo 3, Gazi & Passino, Swarm Stability and Optimization)

#### Testi

- Bruno Siciliano, Lorenzo Sciacicco, Luigi Villani, and Giuseppe Oriolo. 2009. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer Publishing Company, Incorporated. - Steven M. LaValle. 2006. Planning Algorithms. Cambridge University Press, USA. - Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated.

#### Bibliografia di riferimento

Nessuno

#### Modalità erogazione

Nel periodo di emergenza COVID-19 lo svolgimento seguirà la normativa vigente.

#### Modalità di valutazione

L'esame consta di un progetto svolto mediante homework durante il corso e di una prova orale per approfondire argomenti di manipolazione e di robotica mobile.

### English

#### Prerequisites

Fundamentals Of Automatic Control and possibly Dynamics and Control of Complex Systems

#### Programme

Manipulators (Chapters of Siciliano et al. Robotics): - Direct kinematics - Differential kinematics - Inverse kinematics - Trajectory planning - Statics and manipulability ellipsoids - Overview of the dynamic model - Motion control schemes - Overview of force control schemes Mobile robotics: - Basic Topological Concepts (Chapter 4.1, LaValle Planning Algorithms) - 2D Rigid Bodies: SE(2) (Chapter

4.2.1, LaValle Planning Algorithms) - Vector Fields and Integral Curves (Chapter 8.3, LaValle Planning Algorithms) - Differential Models (Chapter 13.1, LaValle Planning Algorithms) - Control Affine Systems (Chapter 15.4, LaValle Planning Algorithms) - Motion Control (Chapter 11.6, Siciliano et al. Robotics) - Multi-Robot Swarming (Chapter 3, Gazi & Passino, Swarm Stability and Optimization)

### Reference books

- Bruno Siciliano, Lorenzo Sciacivco, Luigi Villani, and Giuseppe Oriolo. 2009. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer Publishing Company, Incorporated. - Steven M. LaValle. 2006. Planning Algorithms. Cambridge University Press, USA. - Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated.

### Reference bibliography

None

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20802143 - ROBOTICA

**Docente:** GASPARRI ANDREA

### Italiano

#### Prerequisiti

Fondamenti di Automatica e preferibilmente Dynamics and Control of Complex Systems

#### Programma

Manipolatori (Capitoli del testo Siciliano et al. Robotics): - Cinematica diretta - Cinematica differenziale - Inversione cinematica - Pianificazione di traiettoria - Statica ed ellissoidi di manipolabilità - Cenni di modello dinamico - Schemi di controllo del moto - Cenni di schemi di controllo in forza Robotica mobile: - Concetti topologici di base (Capitolo 4.1, Planning Algorithms LaValle) - Corpi rigidi 2D: SE(2) (Capitolo 4.2.1, Planning Algorithms LaValle) - Campi vettoriali e curve integrali (Capitolo 8.3, Planning Algorithms LaValle) - Modelli differenziali (Capitolo 13.1, Planning Algorithms LaValle) - Controllo di sistemi affini (Capitolo 15.4, Planning Algorithms LaValle) - Controllo del moto (Capitolo 11.6, Siciliano et al. Robotics) - Sciami di robot (Capitolo 3, Gazi & Passino, Swarm Stability and Optimization)

#### Testi

- Bruno Siciliano, Lorenzo Sciacivco, Luigi Villani, and Giuseppe Oriolo. 2009. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer Publishing Company, Incorporated. - Steven M. LaValle. 2006. Planning Algorithms. Cambridge University Press, USA. - Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated.

#### Bibliografia di riferimento

Nessuno

#### Modalità erogazione

nel periodo di emergenza COVID-19 lo svolgimento seguirà la normativa vigente

#### Modalità di valutazione

Prova Orale e Valutazione Progetto

### English

#### Prerequisites

Fundamentals Of Automatic Control and possibly Dynamics and Control of Complex Systems

#### Programme

Manipulators (Chapters of Siciliano et al. Robotics): - Direct kinematics - Differential kinematics - Inverse kinematics - Trajectory planning - Statics and manipulability ellipsoids - Overview of the dynamic model - Motion control schemes - Overview of force control schemes Mobile robotics: - Basic Topological Concepts (Chapter 4.1, LaValle Planning Algorithms) - 2D Rigid Bodies: SE(2) (Chapter 4.2.1, LaValle Planning Algorithms) - Vector Fields and Integral Curves (Chapter 8.3, LaValle Planning Algorithms) - Differential Models (Chapter 13.1, LaValle Planning Algorithms) - Control Affine Systems (Chapter 15.4, LaValle Planning Algorithms) - Motion Control (Chapter 11.6, Siciliano et al. Robotics) - Multi-Robot Swarming (Chapter 3, Gazi & Passino, Swarm Stability and Optimization)

#### Reference books

- Bruno Siciliano, Lorenzo Sciacivco, Luigi Villani, and Giuseppe Oriolo. 2009. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer Publishing Company, Incorporated. - Steven M. LaValle. 2006. Planning Algorithms. Cambridge University Press, USA. - Veysel Gazi and Kevin Passino. 2011. Swarm Stability and Optimization. Springer Publishing Company, Incorporated.

#### Reference bibliography

None

#### Study modes

-

#### Exam modes

## 20802112 - SIMULAZIONE DI PROCESSI INDUSTRIALI E LOGISTICI

**Canale:**N0

**Docente:** ADACHER LUDOVICA

### Italiano

#### Prerequisiti

No ci sono

#### Programma

La simulazione ad eventi discreti, metodologia fondamentale per la valutazione delle prestazioni di sistemi complessi (di calcolo, di telecomunicazione, di traffico, ecc) Gli argomenti trattati possono essere raggruppati nei seguenti tre fasi: - costruzione di un modello di un sistema reale: - "esecuzione" di un modello di simulazione - analisi dei risultati della simulazione:

#### Testi

Materiale del docente caricato sul teams

#### Bibliografia di riferimento

Materiale del docente caricato sul teams

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

Sono previste prove in itinere (esoneri), Una prova scritta ( teorica e pratica) ed eventuale orale

### English

#### Prerequisites

None

#### Programme

Discrete event simulation, a fundamental methodology for evaluating the performance of complex systems (computational, telecommunications, traffic, etc.) The topics covered can be grouped into the following three phases: - Construction of a model of a real system: - "Execution" of a simulation model - Analysis of simulation results:

#### Reference books

Teacher's material uploaded to the teams

#### Reference bibliography

Teacher's material uploaded to the teams

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20810528 - TEORIA DEI SISTEMI E DEL CONTROLLO

**Docente:** GASPARRI ANDREA

### Italiano

#### Prerequisiti

Fondamenti di Automatica

#### Programma

Sistemi Lineari 1. INTRODUZIONE AI SISTEMI LINEARI 1.1. Modellazione 1.2. Variabili di Stato 2. EQUAZIONI DIFFERENZIALI 2.1. Equazioni Differenziali Lineari a Coefficienti Costanti 2.2. Esponenziale di Matrice 2.3. Evoluzione Libera 2.4. Evoluzione Forzata 3. RELAZIONE TRA LE RAPPRESENTAZIONI 3.1. Passaggio da Variabili di Stato a Funzione di Trasferimento 3.2. Passaggio da Funzione Trasferimento a Variabili di Stato 4. DECOMPOSIZIONE MODALE 4.1. Autovalori ed Autovettori 4.2. Trasformazione di Coordinate 4.3. Diagonalizzazione e Jordanizzazione 5. PROPRIETÀ STRUTTURALI 5.1. Controllabilità e Osservabilità 5.2. Form di Kalman per Controllabilità e Osservabilità 5.3. Decomposizione Canonica di Kalman 6. ASSEGNAZIONE AUTOVALORI 6.1. Assegnazione Autovalori dallo Stato 6.1.1. Teorema Assegnazione (SISO/MIMO) 6.1.2. Teorema Unicità Assegnazione SISO 6.2. Problema Stabilizzazione 6.3. Osservatore Asintotico dello Stato 6.4. Principio Separazione 6.5. Assegnazione Autovalori dall'Uscita 7. REGOLAZIONE USCITA 7.1. Caso Informazione Completa 7.2. Caso Retroazione dall'Errore Sistemi Non Lineari 9. INTRODUZIONE AI SISTEMI NON LINEARI 9.1. Proprietà fondamentali 9.2. Condizione Lipschitz 9.3. Esistenza ed Unicità della soluzione 9.4. Comparison Lemma 10. STABILITÀ LYAPUNOV 10.1. Sistemi Autonomi 10.2. Definizione Stabilità 10.3. Teorema Stabilità (Criterio Diretto) 10.4. Teorema Instabilità 10.5. Funzioni Lyapunov di Controllo (Krasovskii) 10.6. Principio Invarianza (LaSalla Theorem) 10.7. Teorema Stabilità per Sistemi Linearizzati (Criterio Indiretto)

## Testi

Sistemi Lineari 1. An Introduction to Linear Control Systems, Thomas E. Fortmann, Konrad L. Hitz 2. Complementi per il Corso ([http://gasparri.dia.uniroma3.it/Stuff/complementi\\_teorìa\\_dei\\_sistemi.pdf](http://gasparri.dia.uniroma3.it/Stuff/complementi_teorìa_dei_sistemi.pdf)) 3. Sistemi di controllo (Vol. 2), Alberto Isidori Sistemi Nonlineari 1. Nonlinear Systems (3rd Edition), Hassan K. Khalil

## Bibliografia di riferimento

Nessuna

## Modalità erogazione

Tradizionale

## Modalità di valutazione

Prova scritta e orale separate

## English

## Prerequisites

Fundamentals Of Automatic Control

## Programme

Linear Systems 1. INTRODUCTION TO LINEAR SYSTEMS 1.1. Modelling 1.2. State-Space Representation 2. DIFFERENTIAL EQUATIONS 2.1. Linear Differential Equations with Constant Coefficients 2.2. Exponential Matrix 2.3. Free Evolution 2.4. Forced Evolution 3. RELATIONSHIP BETWEEN REPRESENTATIONS 3.1. From State-Space to Transfer Function 3.2. From Transfer Function to State-Space 4. MODAL DECOMPOSITION 4.1. Eigenvalues and Eigenvectors 4.2. Coordinate Transformation 4.3. Diagonalization and Jordanization 5. STRUCTURAL PROPERTIES 5.1. Controllability and Observability 5.2. Controllability and Observability Kalman Forms 5.3. Kalman Canonical Decomposition 7. EIGENVALUE ASSIGNMENT PROBLEM 7.1. Eigenvalue assignment using state feedback 7.1.1. Assignment Theorem (SISO/MIMO) 7.1.2. Assignment Unicity Theorem (SISO) 7.2. Stabilization Problem 7.3. State Asymptotic Observer 7.4. Separation Principle 7.5. Eigenvalue placement using output feedback 8. LINEAR OUTPUT REGULATION PROBLEM 8.1. Full-Information Problem 8.2. Error-Feedback Problem Nonlinear Systems 9. INTRODUCTION TO NONLINEAR SYSTEMS 9.1. Fundamental Properties 9.2. Lipschitz Condition 9.3. Existence and Unicity of Solution 9.4. Comparison Lemma 10. LYAPUNOV STABILITY 10.1. Autonomous Systems 10.2. Stability Definition 10.3. Stability Theorem (Direct Criterion) 10.4. Chetaev Instability Theorem 10.5. Lyapunov Control Functions (Krasovskii) 10.6. Invariance Principle (LaSalla Theorem) 10.7. Stability Theorem for Linear Systems (Indirect Criterion)

## Reference books

Linear Systems 1. An Introduction to Linear Control Systems, Thomas E. Fortmann, Konrad L. Hitz 2. Lecture Notes ([http://gasparri.dia.uniroma3.it/Stuff/complementi\\_teorìa\\_dei\\_sistemi.pdf](http://gasparri.dia.uniroma3.it/Stuff/complementi_teorìa_dei_sistemi.pdf)) 3. Sistemi di controllo (Vol. 2), Alberto Isidori Nonlinear Systems 1. Nonlinear Systems (3rd Edition), Hassan K. Khalil

## Reference bibliography

None

## Study modes

-

## Exam modes

-