


**Programma del Corso "Modellistica E Simulazione"**

- Codice: I2I036
- Tipo di corso: Opzionale (Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica e Automatica percorso Generale), Obbligatorio (Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica e Automatica percorso Automatica)
- Livello del corso: Lauree Magistrali
- Semestre: 1

Numero di crediti ECTS: (Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica e Automatica) 9 (carico 225 ore)

Docenti: Alessandro Borri (alessandro.borri@iasi.cnr.it)

<b>1</b>	<b>Obiettivi del corso</b>	Capacità di progettare modelli matematici di diversa natura per la rappresentazione di realtà fisiche di interesse, a scopi di previsione e controllo. Capacità di implementazione al calcolatore e di simulazione software dei modelli studiati.
<b>2</b>	<b>Contenuti del corso e risultati formativi (descrittori di Dublino)</b>	<p>Gli argomenti trattati nel corso comprendono:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduzione alla modellistica e alla simulazione. Classificazioni dei sistemi. Esempi elementari. Modellistica black box, grey box e white box. Procedura iterativa di progettazione dei modelli: definizione struttura modello, calibrazione, validazione e implementazione. Ruolo dei dati. Simulazione in Matlab-Simulink ed Excel: comandi base.</li> <li>• Modelli statici lineari, deterministici e stocastici. Esempi. Introduzione alla teoria della stima. Soluzione generalizzata di sistemi algebrici lineari. Stima ai minimi quadrati (pesati). Interpretazione geometrica. Modelli lineari e linearizzabili nei parametri. Regressione multipla. Esercizi e implementazione in Matlab ed Excel. Richiami su variabili aleatorie continue. Introduzione alla stima parametrica stocastica. Proprietà degli stimatori. Stima di massima verosimiglianza. Esempi. Stima di Gauss-Markov. Cenni di stima bayesiana. Stima a minima varianza dell'errore. Stima lineare ottima nel caso gaussiano.</li> <li>• Modelli statici non lineari, ottimizzazione e data fitting. Fenomeni non lineari tipici: polinomiale, trigonometrica, esponenziale, saturazione, dead band, quantizzazione, magic formula, esempi. Cenni all'isteresi. Stimatore di massima verosimiglianza ai minimi quadrati pesati nel caso non lineare. Cenni di algoritmi di ottimizzazione numerica: metodi iterativi, discesa del gradiente, metodi di tipo Newton e quasi-Newton, trust-region, Gauss-Newton. Fitting di curve mediante ottimizzazione in Matlab: fminsearch e fminunc. Risoluzione di problemi non lineari ai minimi quadrati: lsqnonlin. Fitting in Matlab e analisi grafica degli errori.</li> <li>• Modelli dinamici lineari. Rappresentazioni nello spazio di stato. Richiami: forme esplicite ed implicite, modi naturali, approccio in frequenza, risposta a regime permanente, teoria della stabilità, con estensione al caso non lineare. Cenni di teoria della realizzazione. Discretizzazione esatta e approssimata di sistemi a tempo continuo.</li> <li>• Modeling, analisi qualitativa e quantitativa di sistemi dinamici lineari. Modello di inquinamento fluviale, modello massa-molla-smorzatore, modello di inquinamento autovetture, modello sistema lavorativo e pensionistico, modelli di popolazione, cenni di matrici stocastiche e loro proprietà, conservazione della massa, unicità dell'equilibrio fissata la condizione iniziale. Modelli di decadimento radioattivo. Interconnessioni di sistemi dinamici lineari. Schemi a blocchi. Calcolo delle costanti di tempo per sistemi a tempo discreto e a tempo continuo.</li> <li>• Simulazione di sistemi dinamici lineari. Rappresentazioni nello spazio di stato di sistemi lineari in Matlab: ss, tf, zpk. Conversioni tra modelli, interconnessioni. Test di stabilità, raggiungibilità e osservabilità. Realizzazione raggiungibile e osservabile. Realizzazione minima. Decomposizione di Kalman. Diagrammi di Bode. Richiami di tecniche di sintesi: assegnazione degli autovalori con feedback statico dallo stato, osservatore dello stato e teorema di separazione, stabilizzazione mediante il criterio di Nyquist, stabilizzazione mediante il luogo delle radici. Simulazione di sistemi a tempo continuo mediante discretizzazione esatta. Simulazione di sistemi a tempo discreto. Simulazione a tempo continuo in Simulink.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teoria della stima per sistemi dinamici lineari. Stimatore di massima verosimiglianza e di minima varianza. Stima parametrica: identificazione di sistemi lineari a tempo continuo. Identificabilità. Stima bayesiana: il filtro di Kalman. Identificazione dei parametri per sistemi lineari con osservazioni a tempo discreto in Matlab. Implementazione del filtro di Kalman per sistemi a tempo discreto, stazionari, filtro asintoticamente ottimo, filtro di Kalman per sistemi non stazionari.</li> <li>• Modeling, analisi qualitativa e quantitativa di sistemi dinamici non lineari. Studio della stabilità locale mediante linearizzazione. Sistemi planari: analisi qualitativa, piano delle fasi, caratterizzazione degli equilibri (nodi, selle, fuochi, centri). Stabilità strutturale. Comportamenti oscillatori e cicli limite, criterio di Bendixon. Esempi: modello massa-molla-smorzatore non lineare; modello di mutuo bancario e interpretazione del numero di Nepero. Criterio di Poincarè-Bendixon per sistemi planari. Modello preda-predatore di Lotka-Volterra. Teorema di Poincarè sull'esistenza di cicli. Biforcazioni e transizioni catastrofiche. Modelli epidemiologici. Modello di evoluzione di un bosco sottoposto a sfruttamento. Equazione di crescita logistica. Esempi di applicazione congiunta del teorema di Poincarè e del criterio di Bendixon per lo studio del comportamento all'equilibrio di sistemi planari. Modello ibrido di accumulo di pioggia nel terreno.</li> <li>• Simulazione di sistemi dinamici non lineari. Metodi numerici per la risoluzione di equazioni differenziali ordinarie. Metodi espliciti/impliciti, a un passo e a più passi, adattativi, a passo fisso/variabile, a stadi. Metodi Eulero e Runge Kutta. Integrazione di equazioni non rigide in Matlab mediante ode45 (Dormand-Prince). Simulazione e integrazione numerica (Eulero e Runge-Kutta 4° ordine a passo fisso) in Excel di esempi già trattati. Implementazione del filtro di Kalman esteso in Matlab mediante l'utilizzo di funzioni di calcolo simbolico. Case study: modello monotraccia di veicolo con pneumatici non lineari e sua implementazione in Simulink. Utilizzo delle librerie in Simulink: modeling del sistema di sterzo, calcolo della traiettoria spaziale. Implementazione di un sistema di controllo di assetto di veicolo in Simulink mediante Control Lyapunov Functions.</li> <li>• Modelli a stati discreti, deterministici e stocastici, time-driven ed event-driven. Sistemi a stati discreti stocastici. Catene di Markov a tempo discreto (DTMC) e continuo (CTMC). Master Equation. Estrazione di campioni con distribuzioni arbitrarie nel caso di variabili aleatorie discrete e continue. Inverse sampling theorem. Caratterizzazione geometrica delle soluzioni di equilibrio delle CTMC. Interpretazione in termini di teoria dei grafi. CTMC ergodiche. L'algoritmo di Gillespie (SSA) e sua implementazione in Matlab, in versione Monte Carlo, ergodica e in doppia scala dei tempi (cenni).</li> <li>• Advanced topics. Modelli di previsione black box di tipo <math>[N]AR[MA][X]</math>, a tempo discreto e continuo, con esempi. Cenni di machine learning e reti neurali artificiali: aspetti modellistici. Identità di Sherman-Morrison. I minimi quadrati ricorsivi. Modellistica e simulazione mediante reti neurali di un processo di automazione di un'azienda agricola. Equazioni differenziali stocastiche (cenni) e loro integrazione Eulero-Maruyama. Equazioni alle derivate parziali, equazione di continuità (cenni). Soluzione dell'equazione del trasporto unidimensionale. Modelli e simulazione di sistemi multi-agente cooperativi (cenni): problemi di consensus/agreement. Cenni di algoritmi randomizzati: calcolo randomizzato di <math>\pi</math> greco; consenso randomizzato via gossiping.</li> <li>• Seminari: Systems/Synthetic Biology; modelli del sistema glucosio-insulina; modellistica, simulazione e controllo del traffico stradale; modellistica e controllo di processi nucleari.</li> </ul> <p>Alla fine del corso, lo studente dovrebbe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• saper affrontare la modellizzazione e l'analisi quantitativa e qualitativa di fenomeni complessi mediante l'utilizzo di una varietà di formalismi matematici, e saper implementare e simulare tali modelli al calcolatore.</li> </ul>
3	<b>Prerequisiti</b>	Concetti di base dell'algebra lineare e dell'analisi matematica. Concetti di base di teoria dei sistemi, controlli automatici e di informatica.
4	<b>Modalità e lingua di insegnamento</b>	90 ore, distribuite tra lezione frontale, esercitazioni, laboratorio e seminari. <b>Lingua:</b> Italiano <b>Testi/Bibliografia</b>

		<ul style="list-style-type: none"><li>• C. Cassandras, S. Lafortune, <b>Introduction to discrete event systems</b>. Springer. 2008.</li><li>• M. Dalla Mora, A. Germani, C. Manes, <b>Introduzione alla teoria dell'identificazione dei sistemi</b>. EURoma-La Goliardica. 1997.</li><li>• J. P. Hespanha, <b>Linear Systems Theory</b>. Princeton University Press. 2009.</li><li>• G. Guariso, E. Weber, <b>Modellistica e simulazione. Esercizi svolti e laboratorio in excel</b>. Esculapio. 2016.</li><li>• H. K. Khalil, <b>Nonlinear Systems</b>. Prentice Hall. 2001.</li><li>• A. Ruberti, A. Isidori, <b>Teoria della stabilità - appunti dalle lezioni</b>. Siderea. 1977.</li></ul>
5	<b>Metodi di accertamento</b>	Orale con l'ausilio del pc, mediante il quale gli studenti discuteranno i programmi scritti durante il corso.