UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Complex and Uncertain Systems

2627-1-F1802Q135

Obiettivi

Coerentemente con gli obiettivi formativi del Corso di Studio, l'insegnamento si propone di fornire allo studente le *conoscenze* per trattare in modo formale i modelli che descrivono sistemi complessi e sistemi incerti. Lo studente sarà, inoltre, in grado di affrontare problemi concreti anche con tecniche tipiche della collective intelligence, del soft computing e dell'apprendimento automatico.

Conoscenza e capacità di comprensione
Questo insegnamento fornisce le conoscenze basilari e capacità di comprensione relativamente a:

- Cosa è un sistema complesso, cosa è l'incertezza e da quali diverse fonti deriva
- Automi Cellulari come modelli di collective intelligence per sistemi complessi : proprietà formali associate a raggiungibilità, reversibilità, stabilità, instabilità e caos. Algoritmi di decisione/indecidibilità di proprietà formali
- Tile sets, Tiling e Domino Problem, proprietà indecidibili in Automi Cellulari, cenni al self-assembly (DNA computing)
- Dinamica simbolica: subshifts e linguaggi, entropia di un subshift, Teorema di Perron Frobenius, schemi di codifica/decodifica di dati basati su subshift
- Applicazioni nei Sistemi Complessi: crittografia mediante Automi Cellulari, simulazione di fenomeni reali mediante Automi Cellulari, l'algoritmo PageRank di Google e data storage (subshifts), Reaction Systems come modello per simulare reazioni biochimiche
- Logiche Multivalore e Fuzzy Sets: logiche a tre valori e loro applicazioni (valore NULL in database); Logiche a valori di verità nell'intervallo [0,1]: t-norme, t-conorme, reticoli residuati; Fuzzy sets e variabili linguistiche; Sistemi a regole fuzzy
- Introduzione alle rappresentazione della conoscenza con teoria della possibilità e teoria dell'evidenza
- Rough Sets: approssimazione di concetti; apprendimento di regole, feature selection e applicazione al data mining; legame con logiche multivalore; applicazione ai sistemi dinamici
- Introduzione alla gestione dell'incertezza nell'apprendimento automatico: Soft Clustering; multi-label learning; Three-way strategy

Conoscenza e capacità di comprensione applicate

- Capacità di affrontare il problema di modellare un fenomeno (locale ed uniforme nello spazio) tramite Automi Cellulari
- Capacita' di stabilire determinate proprieta' di un Automa Cellulare
- Capacita' di rappresentare un sistema di stringhe soggette a vincoli mediante un subshift e stabilire come codificare sequenze qualunque in sequenze di tale sistema e viceversa
- Capacità di rappresentare nel modo opportuno l'incertezza
- Capacità di gestire diversi tipi di incertezza nell'apprendimento automatico

Autonomia di giudizio

- Capacità di individuare le classi di Automi Cellulari piu' idonee per modellare specifici Sistemi Complessi
- Capacità di individuare il metodo più oppportuno per rappresentare e gestire l'incertezza

Abilità comunicative

Capacità di esporre in maniera chiara e rigorosa i contenuti teorici, incluse le dimostrazioni, gli algoritmi di decisione di alcune proprieta' formali e le tecniche di riduzione per dimostrare l'indecidibilita' di altre proprieta'.

Capacità di apprendere

Capacità di ricercare e apprendere autonomamente nuovi modelli formali per Sistemi Complessi.
Capacità di comprendere nuove proprieta' di modelli formali per Sistemi Complessi e relative questioni di decidibilita'/indecidibilita'.
Capacità di affrontare nuove situazioni in cui ci sia da gestire incertezza

Contenuti sintetici

Trattamento formale e applicazioni dei sistemi complessi e incerti.

Automi cellulari, Tiling e applicazioni nell'ambito della collective intelligence (modellazione di di fenomeni reali, crittografia), dinamica simbolica e applicazioni (coding, memorizzazione di dati su dispositivi fisici, algoritmo PageRank di Google), decidibilità/indecidibilità di proprietà formali, logiche a più valori di verità, teoria dell’evidenza, fuzzy sets, rough set, gestione dell'incertezza in apprendimento automatico.

Programma esteso

1) Introduzione

- cosa è un sistema complesso, cosa è l’incertezza e da quali diverse fonti deriva

- ripasso di logica proposizionale classica, insiemi parzialmente ordinati e algebra booleana

2) Automi Cellulari come modelli di collective intelligence per sistemi complessi :

- proprietà formali associate a raggiungibilità, reversibilità, stabilità, instabilità e caos. Relative classificazioni.

- algoritmi di decisione/indecidibilità di proprietà formali

- esempi di Automi Cellulari significativi

3) Tiling:

- Tile set, tiling, simulazione di una macchina di Turing e Domino Problem

- proprietà indecidibili in Automi Cellulari

- cenni al self-assembly (DNA computing)

4) Dinamica simbolica:

- subshifts e linguaggi

- subshifts di tipo finito e sofici con relative rappresentazioni

- entropia di un subshift, Teorema di Perron Frobenius, schemi di codifica/decodifica di dati basati su subshift

5) Applicazioni (Sistemi Complessi):

- crittografia (secret sharing schemes e generazione di numeri pseudo-casuali) mediante Automi Cellulari

- simulazione di fenomeni reali mediante Automi Cellulari

- l'algoritmo PageRank di Google e data storage (subshifts)

- Reaction Systems come modello per simulare reazioni biochimiche

6) Logiche Multivalore e Fuzzy Sets
- Logiche a tre valori e loro applicazioni (valore NULL in database)
- Logiche a valori di verità nell'intervallo [0,1]: t-norme, t-conorme, reticoli residuati.
- Fuzzy sets e variabili linguistiche
- Sistemi a regole fuzzy

7)Introduzione alle rappresentazione della conoscenza con teoria della possibilità e teoria dell’evidenza

8) Rough Sets:
- Approssimazione di concetti
- Apprendimento di regole, feature selection e applicazione al data mining
- Legame con logiche multivalore
- Applicazione ai sistemi dinamici

9) Introduzione alla gestione dell’incertezza nell’apprendimento automatico
- Soft Clustering
- Multi-label learning
- Three-way strategy

Prerequisiti

Conoscenze acquisite nei corsi base della Laurea Triennale in Informatica.

Modalità didattica

Lezioni ed esercitazioni in aula ed in presenza.

Le lezioni (8 lezioni da 3 ore + 4 lezioni da due ore, per un toale di 32 ore) prevedono una modalità didattica erogativa.
Le ore di esercitazioni (4 attività da 3 ore + 4 attività da due ore, per un toale di 20 ore) prevedono una modalità didattica erogativa nella parte iniziale ed interattiva nella parte successiva.

Supporto in e-learning allo studio individuale con materiale fornito dai docenti.

Il corso viene erogato in italiano, ma se uno studente straniero è presente, il corso può essere erogato in inglese.

Materiale didattico

D. Lind, B. Marcus. An introduction to Symbolic dynamics and coding. Cambridge University Press, 1995.

J. Kari. Cellular Automata. Lecture Notes. http://users.utu.fi/jkari/ca/

P. Kurka. Topological and symbolic dynamics. Société Mathématique de France, 2004.

Alberto Dennunzio. Lecture Notes on Cellular Automata.

Witold Pedrycz: An Introduction to Computing with Fuzzy Sets - Analysis, Design, and Applications. Intelligent Systems Reference Library 190, Springer 2021, ISBN 978-3-030-52799-0
https://doi.org/10.1007/978-3-030-52800-3

D. Ciucci, "Rough Sets and Non-Classical Logics", Dispense
A. Campagner, "Uncertainty in Machine Learning", Dispense

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo Semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Esame orale.
L'esame consiste di due parti.

parte 1. Esame orale su tutti gli argomenti riguardanti i Sistemi Complessi (punti 1, 2, 3, 4 e 5 del programma dettagliato). Le dimostrazioni dei teoremi saranno richieste solo una parte scelta dal candidato.

parte 2. Per quanto riguarda la parte sull'incertezza, verranno assegnati esercizi da consegnare su vari argomenti del corso, tra cui un approfondimento su un argomento concordato con il docente, che sarà oggetto di una discussione orale.

Ogni parte è valutata con un voto (voto massimo 30/30, eventualmente con lode).

La valutazione finale tiene conto di entrambe le parti in egual misura (media dei voti delle due parti).

Orario di ricevimento

Su appuntamento

Sustainable Development Goals