



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E GEOSCIENZE

## **GUIDA DELLO STUDENTE**

Corso di Laurea In  
Intelligenza Artificiale e Data Analytics

Classe delle Lauree in Scienze e Tecnologie Informatiche L31

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Vers. 1.0

AGGIORNATA: 12/4/2023



## Sommario

Revisioni.....	4
Informazioni Generali.....	5
Quadro Normativo degli Studi Universitari .....	5
Come Iscrivarsi.....	6
Test di ingresso .....	6
Obiettivi formativi .....	7
Condizione occupazionale .....	9
Regolamento vigente e manifesto degli studi.....	10
Percorso didattico .....	11
Piani di studio .....	12
Piano di studi Part time .....	15
Esame finale e attribuzione del punteggio finale.....	17
Programma Erasmus .....	19
Calendario didattico .....	20
Orario insegnamenti e calendari esami.....	21
Referenti del Corso di Studi.....	22
Schede degli Insegnamenti.....	24
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI <i>Algebra lineare ed elementi di geometria</i> .....	25
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Algoritmi di ottimizzazione .....	27
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Algoritmi e strutture dati .....	30
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Analisi Matematica I .....	32
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Analisi Matematica II .....	35
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Analisi numerica.....	37
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Architettura degli Elaboratori e sistemi operativi.....	39
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Aspetti etici, sociali e legali dell'Intelligenza Artificiali .....	40
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Basi di dati.....	42
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Calcolo delle probabilità .....	44
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Calcolabilità, Complessità e Logica .....	46
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Data analytics.....	48
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Inferenza statistica.....	50



---

SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Introduzione alla programmazione e laboratorio.....	52
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Introduzione all'Intelligenza artificiale .....	54
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Introduzione al Machine Learning .....	55
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Metodi e modelli matematici per l'Intelligenza artificiale.....	57
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Programmazione avanzata e parallela.....	58
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Sistemi dinamici discreti .....	59
SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Sistemi dinamici per l'intelligenza artificiale .....	62



## Revisioni

<b>Data Aggiornamento</b>	<b>Versione</b>	<b>Descrizione</b>
12/04/2023	1.0	Prima versione pubblicata



## Informazioni Generali

L'intelligenza artificiale e la scienza e tecnologia dei dati sono uno dei principali motori di sviluppo economico del presente e del futuro e formano il sistema nervoso centrale della quarta rivoluzione industriale e della nostra società.

Il corso di laurea in Intelligenza Artificiale e Data Analytics fornisce allo studente una solida preparazione metodologica e fondazionale in matematica, informatica, fisica e statistica, per poi introdurlo ai metodi e alle tecnologie dell'Intelligenza Artificiale e della Data analytics.

Il successo delle tecniche di Intelligenza Artificiale contemporanea è basato sulla capacità algoritmica, sulla disponibilità e sulla capacità di manipolare grandi depositi di dati, sulla disponibilità di efficaci strumenti di elaborazione. Dunque, i temi **dell'Intelligenza Artificiale**, della **Data Analytics** e dell'informatica tradizionale hanno ampia intersezione e costituiscono i pilastri del programma formativo del corso di studio.

Con specifico riguardo all'Intelligenza Artificiale, il focus del Corso di Studi è sulle tecniche e sulle applicazioni del **Machine Learning**, basate sui dati e sui metodi formali propri dei sistemi complessi. Verranno anche trattate metodologie più tradizionali di Intelligenza Artificiale, basate sulla logica ed il ragionamento automatico, e metodi e tecniche per la gestione ed analisi dei dati, proprie della data analytics.

L'obiettivo del corso di studi è di dare una profonda comprensione delle metodologie e dei concetti fondamentali, per dare allo studente la capacità di aggiornare le conoscenze tecniche più specifiche e restare al passo con la rapida evoluzione di questo settore.

Le conoscenze di Intelligenza Artificiale e Data Analytics potranno essere approfondite nei loro aspetti scientifici e specializzate a domini applicativi nel corso di una successiva laurea magistrale. Il laureato in Intelligenza Artificiale e Data Analytics potrà anche entrare nel mondo del lavoro ricoprendo ruoli di sviluppatore di software e sistemi di intelligenza artificiale, nonché di data analyst e data manager.

Il Corso di Laurea in Intelligenza Artificiale e Data Analytics è gestito dal Dipartimento di Matematica e Geoscienze (DMG).

Per ulteriori dettagli può riferimento al sito web del corso di studi: <http://ai.units.it/>

### Quadro Normativo degli Studi Universitari

L'attuale quadro normativo italiano sull'organizzazione degli studi universitari, in ottemperanza al modello europeo, prevede:

- Un titolo di studio di primo livello (denominato **Laurea**) della durata di 3 anni.
- Un titolo di studio di secondo livello (denominato **Laurea Magistrale**) della durata di 2 anni.

Coloro che conseguono la Laurea di primo livello possono proseguire gli studi ed ottenere, mediamente dopo altri due anni, il titolo di studio di secondo livello (Laurea Magistrale).

Un concetto rilevante è quello di **Credito Formativo Universitario (CFU)**, che rappresenta l'unità di misura del lavoro di apprendimento dello studente. Ad 1 CFU corrispondono mediamente 25 ore di lavoro di apprendimento che possono comprendere ore di: lezioni frontali, laboratorio, seminari, tirocinio e cultura di contesto, studio individuale, etc.

Per ogni esame superato lo studente acquisisce il numero di CFU assegnati al relativo insegnamento. Viene convenzionalmente previsto un lavoro di apprendimento annuale pari all'acquisizione di 60 CFU. Pertanto la Laurea di primo livello viene conseguita dopo l'acquisizione di 180 CFU, mentre la Laurea Magistrale richiede l'acquisizione di ulteriori 120 CFU.



## Come Iscrivarsi

Il Corso di Laurea in Intelligenza Artificiale e Data Analytics è ad accesso libero (non è previsto un numero programmato e non è previsto un test selettivo per l'iscrizione). Le istruzioni per le iscrizioni sono comuni a tutti i corsi di laurea ad accesso libero dell'Ateneo e possono essere consultate alla pagina

<https://www.units.it/futuri-studenti/come-isciversi>

### Conoscenze richieste per l'iscrizione

I titoli di studio idonei per l'accesso al Corso di Laurea in Intelligenza Artificiale e Data Analytics sono i diplomi di scuola secondaria di secondo grado e i titoli equipollenti conseguiti in Italia o all'estero. Si richiede la conoscenza dei contenuti di matematica e logica e cenni di informatica di base tipici di un programma della scuola superiore. È prevista una verifica preliminare di tali conoscenze, mediante un test di ingresso, il cui esito non è comunque vincolante per l'iscrizione al Corso di Laurea. Inoltre, è richiesta la conoscenza della lingua inglese a livello B1. Queste conoscenze vengono verificate attraverso il possesso di specifiche certificazioni linguistiche o il sostenimento di un test somministrato dal Centro linguistico di Ateneo.

### Test di ingresso

Gli studenti che si iscrivono al primo anno del Corso di Laurea in Intelligenza Artificiale e Data Analytics devono sostenere una prova di orientamento e valutazione non selettiva, finalizzata ad accertare l'attitudine al ragionamento logico-deduttivo e la preparazione agli studi delle discipline di base e a individuare eventuali lacune.

A tale scopo sarà utilizzato il test TOLC-S del CISIA (<https://www.cisiaonline.it/>) o alternativamente il test TOLC-I. All'indirizzo indicato è possibile avere informazioni sulla struttura dei test TOLC-S e TOLC-I.

Il test sarà considerato superato se sarà raggiunto il punteggio di 18 (diciotto). Il test può essere sostenuto presso l'Università di Trieste nelle sessioni dei mesi di marzo, aprile, luglio, agosto e settembre; una prova di recupero si svolge nel mese di ottobre.

Saranno inoltre riconosciuti validi test TOLC-S o TOLC-I sostenuti in altre sedi universitarie, sia nelle sessioni anticipate sia in quelle autunnali. Le modalità sono definite annualmente nel Manifesto degli Studi.

Il mancato superamento del test non pregiudica la possibilità di iscriversi al Corso di Laurea. Il mancato superamento del test dà origine a un debito formativo, che si riterrà colmato con il superamento dell'esame di Analisi I previsto al primo semestre del primo anno. Lo studente che non ha colmato il debito formativo nel primo anno potrà iscriversi comunque al secondo anno di corso, ma non potrà sostenere esami del secondo anno finché non avrà superato il primo esame di Analisi matematica I.

Per agevolare il superamento del debito formativo saranno attivate iniziative specifiche di mentoring e tutoring in cui potranno anche essere ripresi e discussi argomenti facenti parte dei programmi della scuola secondaria, che stanno alla base degli insegnamenti impartiti nel primo anno di corso. Il mancato possesso dei requisiti di conoscenza della lingua inglese dà anch'esso origine ad un obbligo formativo aggiuntivo, che potrà essere colmato attraverso il superamento di una prova di idoneità di lingua inglese di livello B1. Al fine di agevolare gli studenti nel superamento del debito linguistico, verranno organizzate opportune iniziative di formazione. Il conseguimento del livello B1 in inglese è propedeutico per poter conseguire i crediti di competenza linguistica inglese previsti dal piano di studi.



## Obiettivi formativi

L'intelligenza artificiale e i metodi di scienza dei dati e data analytics sono considerati da molteplici studi di settore uno dei principali motori di sviluppo economico del presente e del futuro (si veda, a tal fine, la strategia nazionale sull'intelligenza artificiale del 2019, disponibile sul sito del Ministero dello Sviluppo Economico).

L'intelligenza artificiale, nella sua declinazione odierna, coniuga approcci 'classici' basati sulla logica e sul ragionamento automatico con approcci 'moderni' basati sull'apprendimento automatico, la statistica e i metodi formali propri dei sistemi complessi. Questi metodi sono essenzialmente basati su dati, il che rende intelligenza artificiale, scienza dei dati e data analytics discipline fortemente sovrapposte, anche dal punto di vista metodologico.

L'obiettivo formativo principale di questo corso di studi triennale è di fornire competenze teoriche e metodologiche di tipo fondazionale e conoscenze applicative legate all'uso di strumenti nelle aree principali dell'intelligenza artificiale e delle metodologie computazionali di analisi dei dati tipiche della data analytics. In particolare tale corso di studi sarà in grado di:

- fornire solide basi matematiche e fisiche, necessarie per la comprensione e lo sviluppo di metodologie moderne di intelligenza artificiale e data analytics;
- fornire solide basi informatiche, concettuali e tecnologiche, per l'analisi, la progettazione, la produzione e l'impiego delle applicazioni informatiche in ambito dell'intelligenza artificiale e della data analytics;
- fornire solide basi statistiche e informatiche per la gestione e l'analisi dei dati e il loro utilizzo in ambito applicativo e nello sviluppo dei moderni sistemi di intelligenza artificiale;
- fornire conoscenze e competenze sia classiche che moderne sugli strumenti concettuali e tecnologici dell'intelligenza artificiale e sulle loro applicazioni, in particolare alla data analytics.

Gli insegnamenti del corso di laurea coniugano una formazione teorica e metodologica di tipo fondazionale con l'uso di strumenti computazionali negli ambiti dell'intelligenza artificiale e della data analytics. Queste competenze sono complementate anche con l'acquisizione di competenze operative e orientate al problem solving e al lavoro di gruppo, combinando lezioni frontali con attività progettuali e di laboratorio.

Il laureato di questo corso di studi è preparato adeguatamente per continuare gli studi in una laurea magistrale in ambito scientifico e tecnologico, nella quale mettere a frutto la formazione metodologica di base conseguita e conseguire competenze e conoscenze avanzate nell'ambito dell'intelligenza artificiale e della scienza dei dati, sia a livello teorico che applicativo.

Il laureato sarà altresì in grado di svolgere attività professionale come sviluppatore di sistemi di intelligenza artificiale, data analyst e data manager e sviluppatore software, nonché di svolgere attività di supporto alle decisioni in materia di automazione e informatizzazione.

I risultati vengono conseguiti negli insegnamenti obbligatori delle discipline matematiche, fisiche, informatiche e statistiche e mediante la trasmissione personalizzata di conoscenze tramite i corsi a scelta.

I risultati vengono verificati nelle prove individuali di esame associate agli insegnamenti. I risultati vengono conseguiti principalmente mediante le lezioni frontali e le esercitazioni, nonché mediante le attività di laboratorio previste nelle attività di progettazione ed esercitazione di gruppo svolte nell'ambito dei principali insegnamenti caratterizzanti.



---

## Percorso formativo

Percorso formativo Il percorso formativo si articola con insegnamenti in quattro aree, connesse ai quattro obiettivi formativi del corso:

- **area dei fondamenti matematico-fisici**, che comprende insegnamenti di matematica e di fisica, per fornire gli strumenti analitici fondamentali per la comprensione delle tecniche moderne di intelligenza artificiale e di data analytics e per lo sviluppo delle capacità di formalizzazione e di astrazione;
- **area dei fondamenti Informatici**, che comprende insegnamenti sui concetti fondamentali delle discipline informatiche, sia tecnologici che teorico-metodologici;
- **area della statistica e della gestione dei dati**, che include insegnamenti sui fondamenti probabilistici e statistici della data analytics e dell'intelligenza artificiale e sulle tecnologie e metodologie informatiche per la gestione dei dati;
- **area dell'intelligenza artificiale**, che consiste di insegnamenti più specifici sull'intelligenza artificiale, sia classica che moderna, con un focus particolare alle tecniche di apprendimento automatico. Il percorso formativo si articola nei tre anni iniziando dai corsi fondamentali, per arrivare ad affrontare al terzo anno gli insegnamenti più specifici negli ambiti dell'intelligenza artificiale e della data analytics.



---

## Condizione occupazionale

La condizione occupazionale dei laureati è rilevata tradizionalmente attraverso le indagini di *AlmaLaurea* ([www.almalaurea.it](http://www.almalaurea.it)) che fotografano attraverso interviste ai laureati le condizioni occupazionali dei laureati e l'efficacia del piano formativo nella realtà lavorativa.

Poiché il Corso di Laurea in Intelligenza Artificiale e Data Analytics essendo stato attivato nell'A.A. 2020-21 non ha ancora concluso il percorso formativo della prima coorte (studenti iscritti nell'A.A: 2020-21) non esistono ancora rilevazioni fruibili sui laureati.

Sono tuttavia significativi i dati nazionali raccolti sui laureati in corsi di laurea appartenenti alla stessa classe L31 (prevalentemente corsi di laurea triennale in Informatica) che vedono per l'indagine 2020 **un tasso di disoccupazione ISTAT del 3,6%** e la possibilità, per chi non intenda completare gli studi con una laurea Magistrale, di collocarsi nel mondo del lavoro entro pochi mesi dal conseguimento della Laurea. Poiché il corso di studi include in ogni caso una formazione informatica di base significativa si attende che, ragionevolmente, le opportunità occupazionali non siano sostanzialmente diverse da quelle dei corsi di laurea in Informatica già censiti.



---

## Regolamento vigente e manifesto degli studi.

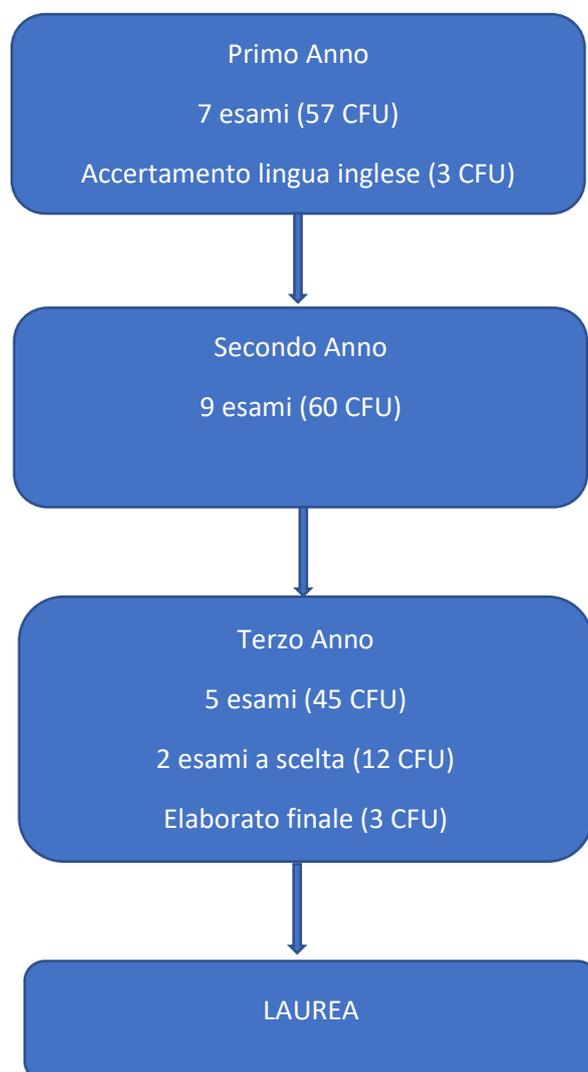
Ciascuno studente segue un percorso didattico conforme al regolamento vigente nell'anno della sua immatricolazione. In ogni anno accademico, viene pubblicato un Manifesto degli Studi che, rispettando il Regolamento Didattico, dettaglia l'erogazione dell'offerta formativa in quell'Anno (scegli ad esempio le attivazioni degli insegnamenti non obbligatori). Qualora nel corso degli studi il Regolamento subisse delle variazioni, esse non avrebbero alcun effetto retroattivo sugli studenti iscritti negli anni precedenti che continuerebbero a far riferimento al regolamento in vigore al momento della loro immatricolazione.

Il regolamento didattico corrente è reperibile sul sito del Corso di Studi all'indirizzo <https://ai.units.it/it/qualità-e-regolamenti>

Allo stesso indirizzo è possibile reperire anche il Manifesto degli studi per l'A.A. 2022-23.



## Percorso didattico





## Piani di studio

Il Corso di laurea in Intelligenza Artificiale e Data Analytics non è articolato in curricula.

### Curriculum comune

Il curriculum comune punta a dare una solida formazione di base nelle discipline dell'informatica, della matematica, della statistica e della fisica, con un focus specifico su quelle metodologie che sono fondamento del machine learning e all'intelligenza artificiale moderne. Verranno poi conseguite conoscenze specifiche nell'ambito del machine learning, dell'intelligenza artificiale e della data analytics.

Curriculum comune				
I anno (60 CFU)				
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>SEMESTRE</i>	<i>CFU</i>
Analisi Matematica I	MAT/05	A	I	9
Algebra Lineare ed Elementi di Geometria	MAT/03	A	I	6
Introduzione alla Programmazione e Laboratorio	INF/01	A	I	12
Lingua Inglese		E	I	3
Analisi Matematica II	MAT/05	A	II	9
Architetture degli Elaboratori e Sistemi Operativi	INF/01	A	II	6
Calcolo delle Probabilità	MAT/06	A	II	6
Introduzione alla Fisica	FIS/01	A	II	9
II anno (60 CFU)				
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>SEMESTRE</i>	<i>CFU</i>
Metodi e Modelli Matematici per l'Intelligenza Artificiale	MAT/05	A	I	6
Basi di Dati	INF/01	B	II	9
Inferenza Statistica	SECS-S/01	C	I	9
Algoritmi e Strutture Dati	INF/01	B	I	6



Algoritmi di Ottimizzazione	MAT/09	C	II	6
Computabilità, Complessità e Logica	INF/01	B	I	9
Aspetti etici, sociali e legali dell'Intelligenza Artificiale	M-FIL/03 SPS/07 IUS/01	F	II	3
Data Analytics	SECS-S/01	C	II	6
Analisi Numerica	MAT/08	A	II	6
<b>III anno (60 CFU)</b>				
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>		<i>CFU</i>
Programmazione Avanzata e Parallela	INF/01	B	I	9
Introduzione al Machine Learning (mod A)	INF/01	B	I	6
Introduzione all'Intelligenza Artificiale	INF/01	B	I	9
Introduzione al Machine Learning (mod B)	INF/01	B	II	9
Teoria dell'informazione e Sistemi Complessi			II	
Teoria dell'informazione e Fisica Statistica (mod A)	FIS/02	C +		6 +
Sistemi Complessi (mod B)	INF/01	B		6
Esami a scelta		D	I-II	12
Elaborato Finale				3

<b>Insegnamenti A Scelta</b>				
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>		<i>CFU</i>
Modelli Statistici	SECS-S/01	D		6
Reti di calcolatori	ING-INF/05	D		9
Sistemi operativi	ING-INF/05	D		6



Teoría del controllo	ING-INF/04	D	9
Sistemi dinamici discreti	ING-INF/04	D	9
Information Retrieval and Data Visualization	INF/01	D	6
Health Data Analytics	MED/01	D	6
Metodi di trattamento del segnale	FIS/01	D	6
Metodi di trattamento delle immagini	FIS/01	D	6
Management of Innovation	SECS-P/08	D	9
Statistical methods with application to finance	SECS-S/01	D	6
Financial econometrics	SECS-P/05	D	6
Genetica	BIO/18	D	6
Meccanica quantistica	FIS/02	D	9
Sistemi Informativi Geografici	M-GGR/02	D	6

## PROPEDEUTICITÀ

Sono previste le seguenti propedeuticità:

Analisi I è propedeutico ad Analisi II.

Introduzione alla Programmazione è propedeutico a Programmazione Avanzata e Parallela.

Introduzione alla Programmazione è propedeutico ad Algoritmi e Strutture Dati.

Algebra Lineare ed Elementi di Geometria è propedeutico ad Analisi Numerica.



## Piano di studi Part time

Lo studente può optare per un piano di studi Part Time con un piano di studi articolato su sei anni (30 CFU l'anno). Vi è seguito il piano degli studi per studenti part-time. Sono valide tutte le regole del piano di studi tradizionale nonché la stessa lista, soggetta a variazioni, per i corsi a scelta.

<b>Curriculum comune</b>			
<b>I anno (30 CFU)</b>			
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>CFU</i>
Analisi Matematica I	MAT/05	A	9
Algebra Lineare ed Elementi di Geometria	MAT/03	A	6
Analisi Matematica II	MAT/05	A	9
Calcolo delle Probabilità	MAT/06	A	6
<b>II anno (30 CFU)</b>			
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>CFU</i>
Introduzione alla Programmazione e Laboratorio	INF/01	A	12
Lingua Inglese		E	3
Architetture degli Elaboratori e Sistemi Operativi	INF/01	A	6
Introduzione alla Fisica	FIS/01	A	9
<b>III anno (30 CFU)</b>			
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>CFU</i>
Inferenza Statistica	SECS-S/01	C	9
Algoritmi e Strutture Dati	INF/01	B	6
Basi di Dati	INF/01	B	9
Algoritmi di Ottimizzazione	MAT/09	C	6



IV anno (30 CFU)			
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>CFU</i>
Metodi e Modelli Matematici per l'Intelligenza Artificiale	MAT/05	A	6
Computabilità, Complessità e Logica	INF/01	B	9
Aspetti etici, sociali e legali dell'Intelligenza Artificiale	M-FIL/03 SPS/07 IUS/01	F	3
Data Analytics	SECS-S/01	C	6
Analisi Numerica	MAT/08	A	6
V anno (30 CFU)			
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>CFU</i>
Programmazione Avanzata e Parallela	INF/01	B	9
Introduzione al Machine Learning (mod A)	INF/01	B	6
Introduzione al Machine Learning (mod B)	INF/01	B	9
Esami a scelta		D	6
VI anno (30 CFU)			
<i>Insegnamento</i>	<i>Settore</i>	<i>TAF</i>	<i>CFU</i>
Teoria dell'informazione e Sistemi Complessi Teoria dell'informazione e Fisica Statistica (mod A) Sistemi Complessi (mod B)	FIS/02 INF/01	C + B	6 + 6
Introduzione all'Intelligenza Artificiale	INF/01	B	9
Esami a scelta		D	6
Elaborato Finale			3



## Esame finale e attribuzione del punteggio finale

### Elaborato di Laurea.

La prova finale (3 CFU) per gli studenti del Corso di Laurea di Intelligenza Artificiale e Data Analytics prevede la preparazione di un **elaborato di Laurea che verrà presentato e discusso in occasione dell'esame finale di laurea**.

Il tema dell'elaborato può coinvolgere aspetti applicativi o teorici rilevanti per le discipline che concorrono alla delineazione del piano di studi del Corso di Laurea.

Il tema dell'elaborato deve essere preventivamente concordato con un docente supervisore assegnato dalla Commissione didattica secondo le modalità di seguito indicate. L'elaborato viene sviluppato in forma autonoma dallo studente con la supervisione del docente.

Esso può essere il frutto sia di una sintesi su di un approfondimento della letteratura tecnico/scientifica su temi di interesse contemporaneo (elaborato di tipologia **compilativa**), sia la relazione su di una attività progettuale e/o sperimentale. La tipologia dell'elaborato non influenza la valutazione dell'elaborato.

L'impegno di preparazione dell'elaborato è commisurato a 3 CFU e dunque quantificabile in circa **tre o quattro settimane** di lavoro a tempo pieno.

### Caratteristiche dell'elaborato di laurea.

L'elaborato di Laurea può essere redatto sia in lingua italiana sia in lingua inglese. Nel caso sia redatto in lingua inglese dovrà essere incluso un sommario del contenuto dell'elaborato in lingua italiana.

L'elaborato finale ha una dimensione consigliata di circa **15/30 pagine (usando interlinea singola e carattere 11pt)** e viene redatta rispettando uno dei due template (latex e word) predisposti.

L'elaborato deve contenere:

- l'inquadramento del tema di interesse nella letteratura pertinente;
- nel caso di una tesi di tipo compilativo, una articolazione ragionata di un tema oggetto di documenti scientifici selezionati e concordati;
- nel caso di una tesi di tipo progettuale/sperimentale, la presentazione dell'attività progettuale o sperimentale, accompagnata dalla eventuale presentazione di dati, dall'analisi e la discussione critica di risultati;
- una bibliografia pertinente compilata secondo gli standard scientifici correnti.

L'elaborato deve rispettare strettamente in ogni sua parte il vincolo dell'originalità. Le mutuazioni dalla letteratura devono essere chiaramente evidenziate nel testo con i riferimenti ai documenti originali. Il mancato rispetto del vincolo di originalità porta al respingimento dell'elaborato.

### Assegnazione del supervisore dell'elaborato di Laurea.

L'assegnazione dell'elaborato di laurea deve precedere l'inizio delle attività ad esso connesse.

L'assegnazione potrà essere richiesta esclusivamente da studenti che siano in debito di al più tre esami di profitto all'atto della richiesta.

Lo studente può concordare preventivamente e autonomamente un tema con un docente del Corso di Studi e successivamente richiedere l'assegnazione alla Commissione Didattica mediante l'apposito modulo predisposto. Alternativamente, lo studente potrà richiedere l'assegnazione di un docente del Corso di Studi alla Commissione Didattica. La Commissione didattica sceglierà autonomamente il docente supervisore



tenendo conto anche del numero delle assegnazioni correnti dei docenti per rispondere a un criterio di equa distribuzione.

Dopo l'assegnazione lo studente concorderà tutte le modalità successive di svolgimento con il docente supervisore.

### **Consegna dell'elaborato di Laurea.**

Il candidato consegna l'elaborato esclusivamente in formato elettronico (.pdf) attraverso un apposito indirizzo di posta elettronica almeno una settimana prima della data della seduta di laurea ufficializzata.

### **Esame finale.**

L'esame finale consiste nella presentazione alla commissione del contenuto dell'elaborato di tesi. Lo studente deve preventivamente concordare la presentazione con il docente supervisore. La presentazione si avvale usualmente di supporti di presentazione e ha una durata massima di 10 minuti.

### **Valutazione dell'esame finale.**

Dopo la presentazione viene attribuito un punteggio complessivo ottenuto dalla somma dei seguenti addendi:

- a. la media della carriera espressa in centodecimi;
- b. un punteggio compreso tra 0 e 5 assegnato all'elaborato e alla presentazione;
- c. un punteggio bonus alla velocità della carriera: di 3 punti nel caso lo studente si laurei essendo regolarmente iscritto al terzo anno di corso ed un punteggio; di 1,5 punti nel caso lo studente si laurei essendo iscritto al terzo anno fuori corso di al più un anno; di 0 punti in tutti gli altri casi.

Il punteggio finale si ottiene come somma dei tre addendi arrotondata per difetto se la parte decimale è inferiore a 0,5, per eccesso se uguale o superiore a 0,5.

Qualora il punteggio finale risultasse uguale a 110 o superiore (prima dell'arrotondamento), la commissione può considerare l'attribuzione della lode che dovrà essere deliberata a maggioranza senza voti contrari.



## Programma Erasmus

Erasmus+ è il programma di mobilità voluto e finanziato dall'Unione Europea che consente anche agli studenti universitari di trascorrere un periodo di studio presso una Università straniera convenzionata, con un contributo finanziario UE e con la possibilità di seguire corsi, sostenere esami e di usufruire delle strutture disponibili senza pagare a questa le tasse di iscrizione.

L'attività didattica (esami, tirocini) svolta in Erasmus+ viene poi riconosciuta, sia in termini di crediti che di voti, dall'Università di appartenenza.

I due canali ERASMUS dedicati agli studenti sono **ERASMUS Studio** e **ERASMUS Traineeship**. Il primo canale è indicato per esami e tesi; il secondo canale è indicato per i tirocini. Per poter partecipare all'esperienze è necessario partecipare a dei bandi. Di norma, il bando ERASMUS STUDIO viene emanato a gennaio per il successivo anno accademico e consente di passare fino a 12 mesi in una delle sedi estere convenzionate.

L'elenco delle sedi convenzionate che possono essere considerate dagli studenti del Corso di studi sono le seguenti:

PAESE	UNIV.	Facoltà	Lingua	Referente	Ciclo	Periodo
A	WIEN02	Faculty of Informatics	Tedesco B2	Prof. Casagrande	I	6 (1)
A	WIEN02	Faculty of Informatics	Inglese B2	Prof. Casagrande	II,III	6 (1)
B	LOUVAIN01	Faculté des sciences	Francese B1 (Ingl. B1)	Prof. Mecchia	I, II	
BG	BLAGOEVO3	Math. and Scie. Dep.	Inglese B2	Prof. Perroni	I, II	5 (2)
D	SAARBRU01	Dep. of Computer Sc.	Inglese B2	Prof. Casagrande	I, II, III	6 (2)
E	OVIEDO 01	Facultad de Ciencias	Spagnolo B1 (Ingl. B1)	Prof.ssa Brundu	I, II	10 (2)
E	GRANADA01	Facultad de Ciencias	Spagnolo B1	Prof. Mecchia	I	9 (1)
E	MADRID04	Facultad de Cencias	Spagnolo B1 (Ingl. B2)	Prof. Del Santo	I, II	10 (2)
LT	KAUNAS01	Faculty of Informatics	Inglese B2	Prof. Castelli	I, II, III	5 (2)
SI	LJUBLJA01	Fakulteta za matematiko in fiziko	Sloveno B2 (Inglese B2)	Prof. Beorchia	I, II	10 (2)

Le diverse sedi convenzionate ammettono studenti della triennale con vincoli diversi che possono essere chiariti dai coordinatori degli scambi (Referente).

Vinto il bando, lo studente deve preparare un **learning agreement** che specifica quali esami si faranno all'estero e quali sono le corrispondenze con gli esami italiani. Il learning agreement va concordato con il coordinatore dello scambio che dovrà firmarlo.

Il bando ERASMUS Traineeship è trimestrale e non necessita dell'esistenza pregressa di un accordo tra il Dipartimento di Matematica e Geoscienze e la sede ospitante. Lo studente può contattare la sede ospitante, fa compilare un documento chiamato nuovamente learning agreement (diverso da quello di ERASMUS Studio) in cui si chiariscono gli obiettivi del tirocinio, le ore impiegate, i crediti riconosciuti in Italia e i criteri di valutazione. Il learning agreement viene presentato per accettazione al delegato del Erasmus del Dipartimento.

Le informazioni qui sintetizzate possono essere recuperate nel completo dettaglio insieme alla modulistica nel sito

<http://www2.units.it/internationalia/>



## Calendario didattico

---

### **I SEMESTRE**

Lezioni: dal **03/10/2022** al **13/01/2023**

Vacanze di Natale: dal **23/12/2022** al **08/01/2023**

Esami di profitto: dal **16/01/2023** al **24/02/2023**

### **II SEMESTRE**

Lezioni: dal **27/02/2023** al **01/06/2023**

Vacanze di Pasqua: dal **06/04/2023** al **12/04/2023**

Esami di profitto: dal **05/06/2023** al **31/07/2023** e  
dal **01/09/2023** al **29/09/2023**

**Inoltre le lezioni saranno sospese nei seguenti giorni:**

- 1, 3 e 4 novembre 2022
- 8 e 9 dicembre 2022
- 24 e 25 aprile 2023
- 1 maggio 2023



## Orario insegnamenti e calendari esami

### Orario degli insegnamenti

L'orario degli insegnamenti è consultabile on-line all'indirizzo:

<https://orari.units.it/agendaweb/index.php?view=easycourse&lang=it>

(Per impostare la ricerca si scelga il Dipartimento di Matematica e Geoscienze e il Corso di Laurea in Intelligenza artificiale e data analytics).

### Calendario degli Esami di profitto

Il calendario degli esami di profitto è gestito autonomamente dai docenti mediante il sistema informativo esse3. Si consulti il servizio all'indirizzo

<https://www.units.it/esse3/docenti/>

### Calendario degli Esami di Laurea

Gli appelli previsti nell'anno Accademico 2022-23 sono:

Sessione estiva - I appello	14 luglio 2023 ore 9.00
Sessione estiva - II appello	22 settembre 2023 ore 9.00
Sessione autunnale - I appello	23 ottobre 2023 ore 14.30
Sessione autunnale - II appello	18 dicembre 2023 ore 14.30
Sessione straordinaria – I appello	12 febbraio 2024 ore 14.30
Sessione straordinaria – II appello	27 marzo 2024 ore 14.30



---

## Referenti del Corso di Studi

### **Coordinatore Didattico del Corso di Studi in Intelligenza Artificiale e Data Analytics:**

Prof. Adriano Peron – Dipartimento di Matematica e Geoscienze - tel. 040/5582619 - e-mail adriano.peron@units.it

### **Referente del Corso di Laurea per il Programma ERASMUS:**

Dott. Alberto Casagrande – Dipartimento di Matematica e Geoscienze - e-mail: acasagrande@units.it

### **Rappresentanti degli studenti:**

Sig. Mario De Angelis

Sig. Matteo Liotta

Sig.ra Jovana Radinovic

### **Gruppo di gestione AQ:**

Prof. Luca Bortolussi

Prof. Lorenzo Castelli

Prof. Daniele Coslovich

Sig.ra Silvia Deana

Sig. Matteo Liotta

Prof. Luca Manzoni

Prof.ssa Roberta Pappadà

Prof. Adriano Peron

Prof.ssa Eva Sincich

Sig. Ludovico Urbani

### **Tutor:**

Dott. Fabio Anselmi

Prof. Marco Barchiesi

Prof. Luca Bortolussi

Prof. Giulio Caravagna



Prof. Luca Manzoni

Dott.ssa Laura Nenzi

Prof. Adriano Peron

Dott.ssa Tatjana Petrov

Dott. Alejandro Rodriguez Garcia



---

## Schede degli Insegnamenti

Le schede di seguito riportate si riferiscono agli insegnamenti previsti dal regolamento corrente.

Le schede degli insegnamenti possono essere recuperate anche on-line all'indirizzo

<https://esse3.units.it/Guide/PaginaRicercaInse.do>



SCHEDELL' INSEGNAMENTO DI *Algebra lineare ed elementi di geometria*  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Linear algebra*

Docenti: *Valentina Beorchia*

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
MAT/03	6	X			X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: nessuno

**PREREQUISITI**

Conoscenza dei numeri reali, delle operazioni con essi e delle principali proprietà di tali operazioni.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

L'obiettivo formativo del corso consiste nel fornire agli studenti degli strumenti concettuali e computazionali che possano essere impiegati per trattare situazioni che si possano modellizzare mediante l'algebra lineare o la geometria affine.

D1 - Conoscenza e capacità di comprensione: al termine del corso lo studente dovrà conoscere i concetti base dell'algebra lineare, ed aver compreso il significato dei principali teoremi relativi a tali concetti.

D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione: lo studente dovrà essere in grado di applicare con sicurezza gli algoritmi computazionali studiati nel corso.

D3 - Autonomia di giudizio: lo studente dovrà essere in grado valutare se una data situazione, concreta o concettuale, si possa modellizzare o meno in termini di algebra lineare, o di geometria affine.

D4 - Abilità comunicative: lo studente dovrà essere in grado di comprendere, descrivere, spiegare (con proprietà di linguaggio) ogni situazione in cui vengano utilizzati concetti e metodi dell'algebra lineare e/o della geometria affine.

D5 - Capacità di apprendimento: lo studente dovrà essere in grado di seguire argomentazioni in ulteriori corsi di studio, che utilizzino concetti e metodi visti nel corso di Geometria.

**CONTENUTI**

Sistemi di equazioni lineari. Spazi vettoriali. Geometria affine del piano e dello spazio. Matrici. Determinanti. Applicazioni lineari. Diagonalizzazione. Spazi vettoriali euclidei ed unitari. Teorema spettrale.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni frontali alla lavagna che consistono nell'esposizione dei contenuti teorici. Esercitazioni alla lavagna e con strumenti informatici.

**MODALITA' DI VERIFICA**

Il programma d'esame coincide con i contenuti delle lezioni. La prova scritta consiste nello svolgimento di un esercizio teorico, comprendente una definizione e un teorema con dimostrazione, del peso massimo di 5 punti, e nella risoluzione di tre esercizi sul modello di quelli svolti a lezione, di peso massimo 9 punti,



10 punti e 8 punti rispettivamente. Per essere ammessi alla prova orale e' necessario aver ottenuto nella prova scritta un giudizio non inferiore a 15/30. In tal caso si potrà sostenere la prova orale in una qualsiasi sessione dello stesso anno accademico. Nella prova orale vengono valutate, oltre alla comprensione dei contenuti (definizioni e dimostrazioni) presentati nel corso, anche le capacità espositive. Il voto finale tiene conto delle prove scritta e orale.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Algoritmi di ottimizzazione  
TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE Optimization Algorithms

Docenti: Lorenzo Castelli

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
MAT/09	6		X			X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno.

**PREREQUISITI**

Conoscenze di base: la conoscenza del formalismo dell'algebra lineare (vettori, matrici, loro operazioni e rappresentazioni nello spazio) e della teoria dei grafi (classificazione, proprietà, alberi, percorsi, circuiti) può semplificare l'esposizione del materiale didattico ma non è un requisito indispensabile.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Conoscenza e capacità di comprensione: comprendere l'impostazione concettuale della Ricerca Operativa quale strumento per formulare, risolvere e valutare problemi di decisione relativi a sistemi complessi. Conoscere le metodologie di formalizzazione dei modelli quantitativi e di soluzione algoritmica dei problemi. Comprendere tutti gli aspetti teorici che stanno alla base delle tecniche di soluzione, le loro giustificazioni matematiche e le loro implicazioni e potenzialità applicative.

Conoscenza e capacità di comprensione applicate: essere in grado di applicare in concreto le tecniche di soluzione e gli algoritmi, eseguendo materialmente le procedure necessarie per arrivare alla soluzione di effettivi problemi numerici ed essere in grado quindi di analizzare criticamente le soluzioni ottenute.

Autonomia di giudizio: essere in grado di applicare le conoscenze acquisite per arrivare autonomamente a formulare modelli quantitativi e successivamente a risolvere i relativi problemi di ottimizzazione eseguendo anche manualmente gli opportuni algoritmi risolutivi.

Abilità comunicative: saper esporre, sia in forma scritta che orale, problemi di decisione e le loro possibili soluzioni. Saper discutere criticamente la validità ed i limiti delle formulazioni e delle soluzioni.

Capacità di apprendere: saper raccogliere informazioni dai libri di testo, articoli scientifici e altro materiale per la formulazione e la soluzione autonome di problemi decisionali.

**CONTENUTI**

1. INTRODUZIONE ALLA RICERCA OPERATIVA  
Problemi di decisione. Esempi.  
Ambiti di applicazione. Gestione delle attività. Pianificazione delle attività. Pianificazione e gestione delle risorse.  
Ambito manifatturiero. Logistica. Trasporti. Esempi.  
Altri ambiti di applicazione: economia, finanza, servizi sanitari, pubblica amministrazione.

2. PROGRAMMAZIONE LINEARE  
Proprietà, caratteristiche ed applicabilità della Programmazione Lineare (PL).  
Formulazione dei modelli di PL: variabili decisionali, obiettivo, vincoli.  
Esempi



Interpretazione geometrica per problemi in due dimensioni.

Soluzione geometrica.

Possibili esiti di un problema di PL: ammissibilità, limitatezza, ottimalità unica e multipla. Esempi.

Formulazione algebrica della PL.

Problemi in forma standard. Variabili di slack e di surplus. Generalità della forma standard.

Metodo del simplesso.

Soluzione di base. Variabili in base e fuori base.

Criterio di ottimalità di una soluzione di base.

Miglioramento di una soluzione di base ammissibile ma non ottima.

Esempi.

### 3. DUALITA' IN PL

Moltiplicatori. Variabili duali. Vincoli duali. Obiettivo duale.

Problema duale. Duale del duale.

Esempi.

Teoremi di dualità. Dualità debole e forte. Teorema degli scarti complementari.

Relazioni tra le possibili soluzioni del problema primale e di quello duale.

### 4. POSTOTTIMALITA'.

Significato delle analisi di postottimalità e di sensitività.

Variazione dei termini noti.

Variazione dei coefficienti della funzione obiettivo.

Esempi

### 5. Problemi su rete

- Flusso a costo minimo
- Percorsi minimo
- Flusso massimo
- Trasporto
- Assegnazione
- Critical Path Method
- Albero coprente minimo

### 6. Risoluzione di problemi su rete mediante python

## MODALITA' DIDATTICHE

Lezioni frontali ed esercitazioni con svolgimento di esempi

## MODALITA' DI VERIFICA

L'esame finale consiste nell'implementazione mediante python di un algoritmo di ottimizzazione su uno degli argomenti trattati nel corso.

E' necessaria una rielaborazione critica e non puramente mnemonica di quanto appreso.





SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Algoritmi e strutture dati  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Algorithms and data structures*

Docenti: Luca Bortolussi

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	6		X		X		

Insegnamenti propedeutici previsti: Introduzione alla programmazione e laboratorio.

**PREREQUISITI**

Programmazione in Python, nozioni di analisi (serie, integrali, successioni), nozioni di probabilità (variabili aleatore, valore atteso).

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Introdurre lo studente ai concetti fondamentali della progettazione di algoritmi efficienti, ad iniziare dalla complessità computazionale, e alla progettazione di strutture dati ottimizzate per la soluzione di specifici problemi.  
 Conoscenza e comprensione: conoscere i principali algoritmi e strutture dati e le principali tecniche di progettazione di algoritmi.  
 Capacità di applicare conoscenza e comprensione: essere in grado di identificare i migliori algoritmi tra quelli studiate ed eventualmente progettarne delle varianti efficienti per risolvere dei problemi di natura computazionale.  
 Abilità comunicative: essere in grado di spiegare in modo chiaro la logica ed il funzionamento di un algoritmo, e di descriverne il funzionamento anche mediante pseudocodice  
 Abilità di apprendimento: capacità di apprendere nuove tecniche algoritmiche e nuove strutture dati oltre a quelle viste a lezione, motivati da specifici problemi da risolvere.

**CONTENUTI**

Introduzione alla progettazione di algoritmi e strutture dati, con focus su applicazioni in scienza dei dati ed intelligenza artificiale. Algoritmi di ordinamento e di ricerca, strutture dati fondamentali, alberi binari, tabelle di hash, algoritmi su grafi.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni frontali, esercitazioni in aula, esercizi da fare durante lo studio individuale.

**MODALITA' DI ESAME**



Esame scritto ed esame orale. Ci saranno delle prove intermedie durante il corso che, se superate, semplificheranno l'esame finale.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Analisi Matematica I  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Calculus I*

Docenti: *Daniele Del Santo*

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
MAT/05	9	X			X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: nessuno

**PREREQUISITI**

Nozioni elementari di logica delle proposizioni e dei predicati. Teoria elementare degli insiemi. Nozione di funzione e di relazione. Funzioni numeriche elementari. Nozioni elementari di geometria analitica

**OBIETTIVI FORMATIVI**

- D1. Conoscenza e capacità di comprensione. Al termine del corso lo/a studente/ssa saprà dimostrare di conoscere i risultati fondamentali del calcolo differenziale e integrale in una variabile.
- D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Alla fine del corso lo/a studente/ssa saprà applicare le conoscenze di calcolo differenziale e integrale acquisite per risolvere facili problemi ed esercizi. Gli esercizi potranno essere proposti anche in veste di elementari risultati teorici.
- D3. Autonomia di giudizio. Al termine del corso lo/a studente /ssa saprà riconoscere e applicare le tecniche più elementari del calcolo differenziale e integrale (massimi e minimi di funzioni, studi di funzioni) e saprà altresì riconoscere le situazioni e i problemi in cui tali tecniche possono essere vantaggiosamente utilizzate (semplici modelli dalla fisica e da altre discipline).
- D4. Abilità comunicative. Alla fine del corso lo/a studente/ssa saprà esprimersi in modo appropriato sui temi di calcolo differenziale e integrale, con proprietà di linguaggio e sicurezza di esposizione.
- D5. Capacità di apprendimento. Alla fine del corso lo/a studente/ssa sarà in grado di consultare i manuali standard di calcolo differenziale e integrale in una variabile

**CONTENUTI**

1. Insiemi numerici Numeri naturali. Principio di induzione. Cenni di calcolo combinatorio. I coefficienti binomiali e il teorema del binomio. Numeri interi e numeri razionali.
2. Assiomi dei numeri reali. L'assioma di separazione. Maggioranti e minoranti, estremo superiore e inferiore. Teorema di esistenza dell'estremo superiore. Densità dei razionali nei reali. Archimedeità dei reali. Numeri complessi. Topologia dei numeri reali. Intorni, insiemi aperti e chiusi. Punti di accumulazione e di chiusura. Frontiera di un insieme. Insieme derivato e caratterizzazione degli insiemi chiusi tramite il derivato. Il teorema di Cantor sugli intervalli inscatolati. Il teorema di Bolzano-Weierstrass.
3. Limiti di successioni. Successioni di numeri reali. Definizione di limite, casi particolari di limiti finiti e infiniti. Sottosuccessioni. Proprietà dei limiti: unicità, permanenza del segno. Teorema del confronto e dei due carabinieri. Operazioni con i limiti. Teorema sul limite delle successioni monotone. Il limite fondamentale  $\lim_{n \rightarrow \infty} (1+1/n)^n$ . Caratterizzazione dei chiusi tramite le successioni. Successioni e sottosuccessioni convergenti. Teorema di Weierstrass sulle successioni. Compatti di R e loro caratterizzazione. Successioni di Cauchy. Completezza di R.
4. Limiti di funzioni, funzioni continue Operazioni con i limiti. Formula di cambiamento di variabile. Teorema dei due carabinieri. Limiti delle restrizioni: limite destro e sinistro. Funzioni monotone.



5. Funzioni continue. Somma, differenza, prodotto, quoziente, composizione di funzioni continue. Il teorema degli zeri. Continuità della funzione inversa. Potenze di base reale ed esponente intero e razionale. Potenze con esponente reale. Funzione esponenziale e funzione logaritmo. Le funzioni trigonometriche. Limiti notevoli per l'esponenziale, il logaritmo e le funzioni trigonometriche. Compattatezza e funzioni continue. Massimi e minimi: il teorema di Weierstrass. Teorema di Heine.

6. Calcolo differenziale per funzioni reali di una variabile reale La derivata come limite del rapporto incrementale. Derivate successive. Regole di derivazione: somma, prodotto, quoziente, funzioni composte, inverse. Teoremi di Rolle, di Lagrange e di Cauchy. Regole di de l'Hopital. Caratterizzazione delle funzioni derivabili monotone. Funzioni convesse e concave. Studi di funzione. Formula di Taylor con resto di Lagrange.

7. Calcolo Integrale per funzioni reali di una variabile reale Somme inferiori e superiori. Funzioni integrabili secondo Riemann. Caratterizzazione delle funzioni integrabili. Integrabilità delle funzioni monotone e delle funzioni continue. Teorema della media integrale. Funzione integrale e teorema fondamentale del calcolo. Integrazione per sostituzione e per parti.

#### MODALITA' DIDATTICHE

Lezioni frontali. Esercitazioni in classe. Una parte del materiale didattico, comprensivo di esercizi e problemi, sarà messo a disposizione degli studenti tramite Moodle. E' prevista l'attività di un tutore che correggerà gli esercizi proposti settimanalmente dal docente e svolti autonomamente dagli/le studenti/sse e gestirà delle sedute di lavoro di gruppo.

#### MODALITA' DI ESAME

Esame finale scritto e orale. Lo scritto sarà dedicato alla soluzione di esercizi di calcolo differenziale e integrale in una variabile, su modello di quanto svolto in classe e di quanto assegnato come lavoro individuale e corretto dal tutore. L'orale avrà lo scopo di verificare la conoscenza teorica della disciplina, le capacità di espressione e la proprietà di linguaggio degli/le studenti/sse





SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Analisi Matematica II  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Calculus II*

Docenti: *Eva Sincich*

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
MAT/05	9	X				X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: **Analisi matematica I**

**PREREQUISITI**

Calcolo differenziale e integrale per le funzioni di una variabile reale. Nozioni di base di algebra lineare e geometria analitica.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Lo studente, al termine del corso, dovrà conoscere i risultati fondamentali del calcolo differenziale e integrale per le funzioni di più variabili, delle serie numeriche e di funzioni, delle equazioni differenziali ordinarie.

D1 - Conoscenza e capacità di comprensione. Lo studente, al termine del corso, dovrà conoscere i risultati fondamentali del calcolo differenziale e integrale per le funzioni di più variabili, delle serie numeriche e di funzioni, delle equazioni differenziali ordinarie.

D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Lo studente dovrà essere in grado di affrontare e risolvere semplici esercizi, quesiti, problemi, di carattere teorico e di calcolo, relativi agli argomenti trattati nel corso.

D3 - Autonomia di giudizio. Lo studente dovrà essere in grado di descrivere, modellizzare e risolvere autonomamente semplici problemi di interesse applicativo, facendo uso degli strumenti matematici sviluppati nel corso.

D4 - Abilità comunicative. Lo studente dovrà essere in grado di descrivere con un'adeguata proprietà di linguaggio argomenti di carattere matematico e tradurre in termini matematici questioni di carattere applicativo.

D5 - Capacità di apprendimento. Lo studente dovrà essere in grado di leggere e comprendere libri e articoli che utilizzano gli strumenti matematici appresi nel corso ed essere in grado di apprenderne di più avanzati.

**CONTENUTI**

Spazi euclidei: struttura lineare, metrica, topologica.

Calcolo differenziale in  $R^N$ : derivate parziali e direzionali, differenziabilità, regole di differenziazione, formula di Taylor e applicazioni, teorema della funzione implicita e applicazioni.

Serie numeriche: somme parziali e serie, relazioni con l'integrale, criteri di convergenza. Serie di potenze e sviluppi in serie di Taylor.

Calcolo integrale in  $R^N$ : integrale sugli N-rettangoli e relative proprietà, misura in  $R^N$ , integrale su insiemi limitati, formule di riduzione, cambiamento di variabili, integrali generalizzati.

Curve e superfici: curve e superfici in forma parametrica o implicita, lunghezza e area, integrali di linea e di superficie di campi scalari.

Calcolo vettoriale: campi vettoriali, integrali di linea e di superficie di campi vettoriali, rotore e divergenza, campi vettoriali conservativi, teorema del rotore, teorema della divergenza.

Equazioni differenziali: equazioni differenziali e modellistica matematica, il problema di Cauchy per le



equazioni differenziali ordinarie, studio qualitativo e risoluzione per quadrature, equazioni e sistemi, equazioni differenziali lineari.

#### **MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni ed esercitazioni frontali. Didattica assistita.

#### **MODALITA' DI ESAME**

Esame scritto o orale sia sulla parte pratica (esercizi), sia sulla parte teorica (definizioni, enunciati e dimostrazioni di teoremi). Ulteriori dettagli in Moodle <http://moodle2.units.it>

Eventuali cambiamenti alle modalità qui descritte, che si rendessero necessari per garantire l'applicazione dei protocolli di sicurezza legati all'emergenza COVID19, saranno comunicati nel sito web di Dipartimento, del Corso di Studio e dell'insegnamento.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Analisi numerica  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE Numerical Analysis

Docenti: Angeles Martinez Calomardo

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
MAT/08	6		X			X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Algebra lineare e geometria.

**PREREQUISITI**

Le conoscenze fornite nei corsi di Analisi Matematica e Geometria.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

- D1. Conoscenza e capacità di comprensione. Al termine del corso lo studente dovrà dimostrare di conoscere e comprendere gli aspetti teorici alla base dei metodi numerici.
- D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Alla fine del corso lo studente dovrà sapere applicare le conoscenze di analisi numerica acquisite per risolvere problemi ed esercizi al calcolatore, quali la risoluzione di equazioni nonlineari, la risoluzione di sistemi lineari, l'approssimazione di funzioni e dati, l'approssimazione di integrali definiti.
- D3. Autonomia di giudizio. Al termine del corso lo studente dovrà sapere riconoscere la tecnica numerica più adatta alla risoluzione di un problema dato e dovrà essere in grado di analizzarne il risultato alla luce della teoria.
- D4. Abilità comunicative. Alla fine del corso lo studente dovrà essere in grado di descrivere i metodi numerici studiati, le loro proprietà, i loro punti di forza e limitazioni con proprietà di linguaggio, rigore logico e sicurezza di esposizione.
- D5. Capacità di apprendimento. Alla fine del corso lo studente dovrà essere capace di leggere e comprendere testi di analisi numerica di livello base, e dovrà altresì essere in grado di affrontare i problemi più complessi che verranno presentati negli insegnamenti successivi.

**CONTENUTI**

S Il corso introduce all'analisi numerica, e quindi allo studio dei metodi che permettono di risolvere, con l'ausilio del calcolatore, problemi matematici di interesse nelle scienze applicate in generale e nell'intelligenza artificiale e l'analisi dei dati in particolare.

1. Rappresentazione dei numeri al calcolatore e aritmetica floating point.  
 Rappresentazione floating point dei numeri reali. Errori di troncamento e di arrotondamento. Precisione di macchina. Aritmetica floating point. Propagazione degli errori nelle operazioni aritmetiche con numeri approssimati. Condizionamento di un problema e stabilità dell'algoritmo risolutivo.
2. Soluzione numerica di equazioni non lineari.  
 Formulazione del problema. Metodi iterativi, convergenza e ordine dei metodi. Metodi a convergenza locale e a convergenza globale. Metodo di bisezione e altri metodi del primo ordine. Metodi iterativi di punto fisso. Teorema di convergenza. Un metodo del secondo ordine: il metodo di Newton. Metodi quasi-Newton: il metodo delle secanti.  
 Il metodo di Newton per funzioni in più variabili e minimizzazione di funzionali (cenni).
3. Interpolazione e approssimazione di funzioni e dati.



Interpolazione polinomiale. Esistenza ed unicità del polinomio interpolatore. Forma di Lagrange e forma di Newton. Espressione dell'errore nell'interpolazione polinomiale. Il problema della convergenza (controesempio di Runge), interpolazione su nodi di Chebyshev. Approssimazione polinomiale ai minimi quadrati.

4. Elementi di algebra lineare numerica. Norme di vettori e matrici, matrici ortogonali, matrici simmetriche e definite positive. Condizionamento di matrici e sistemi. Risoluzione di sistemi lineari: metodo di eliminazione gaussiana e fattorizzazione LU. Stabilità della fattorizzazione LU. Strategie pivotali. Fattorizzazione di Cholesky per matrici simmetriche e definite positive. Fattorizzazione QR. Scomposizione ai valori singolari (SVD). Soluzione ai minimi quadrati di sistemi sovradeterminati. Analisi delle componenti principali. Metodi iterativi per la risoluzione di sistemi lineari. Metodo della discesa ripida.

5. Integrazione numerica. Formule di quadratura di Newton-Cotes. Formule semplici e formule composite. Errore delle formule di quadratura semplici e composite. Convergenza e stabilità.

Laboratorio: implementazione e applicazione di codici numerici in Matlab.

#### MODALITA' DIDATTICHE

Il corso è strutturato in lezioni frontali ed esercitazioni in laboratorio. Alle lezioni frontali in aula in cui vengono presentati i metodi numerici di base per risolvere problemi classici della matematica mediante l'uso di un calcolatore, fanno seguito esercitazioni in laboratorio che mirano all'implementazione di tali metodi in Matlab e allo sviluppo di un'adeguata sensibilità e consapevolezza del loro utilizzo.

La frequenza delle lezioni è fortemente raccomandata sia per l'apprendimento che la preparazione all'esame.

Il materiale didattico (dispense e programmi) verrà messo a disposizione dello studente in formato elettronico e sarà reperibile sulla piattaforma Moodle.

Per ulteriori approfondimenti si possono consultare i testi suggeriti.

Si rimanda alla pagina Moodle dell'insegnamento per ulteriori informazioni.

#### MODALITA' DI ESAME

La valutazione dello studente prevede una prova scritta e una prova orale, entrambe valutate in trentesimi. Nella prova scritta verranno proposte sia domande aperte relative alla teoria e alle dimostrazioni presentate durante le lezioni sia esercizi.

La prova orale si svolge dopo superamento della prova scritta (voto maggiore o uguale a 18 trentesimi) e prevede la discussione delle esercitazioni obbligatorie proposte durante il corso.

La prova d'esame mira a verificare il raggiungimento dei seguenti obiettivi didattici:

- comprensione dei fondamenti teorici dei metodi numerici illustrati durante le lezioni frontali;
- capacità di implementazione e applicazione dei metodi numerici illustrati per risolvere problemi reali mediante il calcolatore.

Il punteggio finale della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi calcolato in base alla somma del punteggio ottenuto nella prova scritta (almeno 18/30) più un aumento in base al voto della discussione della parte di laboratorio durante la prova orale (se superata anch'essa con almeno 18/30) di massimo 4 punti.

Se il voto finale supererà 30/trentesimi verrà assegnata la lode.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Architettura degli Elaboratori e sistemi operativi  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Computer Architecture and Operating Systems*

Docenti: Luca Manzoni

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	6	X				X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: nessuno

**PREREQUISITI**

Basi di programmazione in linguaggio C

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Gli obiettivi del corso sono acquisire la conoscenza della struttura a basso livello del calcolatore, a partire dal livello delle porte logiche. Si vuole inoltre acquisire la conoscenza del funzionamento di base dei sistemi operativi e dei sistemi della famiglia Unix in particolare.  
 In particolare, si vuole che lo studente sia in grado, al termine del corso, di utilizzare e comprendere il funzionamento di un sistema Unix-like, di comprendere come un programma viene eseguito da un calcolatore elettronico e di scrivere programmi concorrenti.

**CONTENUTI**

Il corso consiste di tre parti principali sull'architettura dei calcolatori, la struttura dei sistemi operativi e la programmazione concorrente.  
 Architettura dei calcolatori. Si vuole introdurre la struttura del calcolatore, a partire dalle porte logiche per costruire una unità aritmetico-logica (ALU) ed un sistema di decodifica e controllo. Si procederà a studiare le altre componenti del computer, a partire dalla memoria ad accesso casuale. Si proseguirà passando dal linguaggio macchina al linguaggio assembly.  
 Sistemi operativi. Si inizierà dalle funzionalità di base dei sistemi operativi moderni, dal regolare l'accesso alle periferiche alla possibilità di eseguire più processi in modo concorrente. Si introdurranno le basi dello stack di rete per poi passare a focalizzarsi sulla famiglia dei sistemi operativi unix e unix-like.  
 Programmazione concorrente. Si introdurranno i metodi di comunicazione tra processi, in particolare segnali, pipe e memoria condivisa. Si introdurranno i thread posix e le strutture necessarie a garantire la mutua esclusione e la sincronizzazione.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Il corso consisterà in lezioni frontali nelle quali saranno introdotti i concetti principali del corso. Ad affiancare le lezioni frontali vi saranno esercitazioni pratiche in cui i concetti visti verranno applicati.

**MODALITA' DI ESAME**

L'esame consisterà di un esame scritto e di un esame orale al quale sarà possibile accedere previo superamento della prova scritta.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Aspetti etici, sociali e legali dell'Intelligenza Artificiali

TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE

Docenti: Simone Arnaldi, Marta Infantino

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
M-FIL/03 SPS/07 IUS/01	3			X		X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: nessuno

PREREQUISITI

Nessuno

OBIETTIVI FORMATIVI

Conoscenza e capacità di comprensione: Lo studente dovrà dimostrare di possedere una buona conoscenza delle metodologie sociologiche e giuridiche e di aver sviluppato una sufficiente capacità di comprenderne le nozioni e applicazioni.

Conoscenza e capacità di comprensione applicate (applying knowledge and understanding):  
Lo studente dovrà dimostrare una buona conoscenza e capacità di comprensione dei principali problemi sociali, etici e giuridici sollevati dalle applicazioni di intelligenza artificiale.

Autonomia di giudizio (making judgements): Lo studente dovrà dimostrare la capacità di integrare le conoscenze acquisite, nonché di formulare giudizi, anche sulla base di informazioni limitate o incomplete, con particolare riferimento ai problemi sociali, etici e giuridici sollevati dalle applicazioni di intelligenza artificiale.

Abilità comunicative (communication skills) Lo studente dovrà dimostrare la capacità di presentare, discutere e motivare la propria posizione rispetto ai problemi sociali, etici e giuridici sollevati dalle applicazioni di intelligenza artificiale.

Capacità di apprendere (learning skills): Lo studente dovrà raggiungere la capacità di elaborare e interpretare nozioni e metodi attinenti alla sociologia, all'etica, al diritto.

CONTENUTI

Il corso si propone di offrire una breve panoramica delle principali sfide sociali, etiche e giuridiche sollevate dalle applicazioni dell'intelligenza artificiale, nonché sulla percezione sociale di questo ambito di ricerca e sviluppo.

MODALITA' DIDATTICHE

Le lezioni frontali, seppur istituzionali, verranno integrate con la discussione in classe di problemi e casi rilevanti.

MODALITA' DI ESAME



Gli studenti saranno valutati sulla base di una prova scritta di un'ora sul programma del corso. La prova si comporrà di tre domande. Le risposte, a seconda della loro correttezza, precisione e adeguatezza, valgono fino a 10 punti ciascuna.

In alternativa all'esame scritto, gli studenti frequentanti possono concordare con i titolari dell'insegnamento di ricercare materiali e predisporre un breve scritto (max 2000 parole) su uno dei temi affrontati nel corso.



SCHEDELL' INSEGNAMENTO DI Basi di dati  
TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Data bases*

Docenti: Andrea De Lorenzo

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	9		X			X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Architetture dei Calcolatori; Fondamenti di Informatica; Algoritmi e Strutture Dati; Reti di Calcolatori

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Conoscenza e capacità di comprensione.

- Conoscere cosa significa persistere i dati.
- Conoscere i principali metodi per persistere dati.
- Conoscere i modelli logici esistenti e le differenze tra di loro.
- Conoscere il linguaggio SQL, la sua sintassi e i suoi usi.
- Conoscere i concetti di Prepared Statement, Stored Procedure e Trigger.
- Conoscere gli strumenti per accedere ai dati.
- Comprendere come rappresentare concettualmente una base di dati.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione.

- Progettare, sviluppare ed utilizzare una base di dati, relazionale o no-SQL.

Autonomia di giudizio.

- Decidere quale rappresentazione concettuale è adatta per persistere dati.
- Giudicare quale è lo schema logico più adatto per persistere dai.

Abilità comunicative.

- Descrivere le motivazioni alla base delle scelte di progetto di una base di dati.
- Comprendere, formulare e descrivere le specifiche per una base di dati.

Capacità di apprendimento.

- Imparare ad usare, attraverso la documentazione del software e gli esempi di utilizzo, un qualsiasi DMBS.
- Imparare le basi di linguaggi e metodi per interrogare le basi di dati.

**CONTENUTI**

Concetti Fondamentali; Progettazione delle Basi di Dati; Progettazione Concettuale; Progettazione Logica; Modello Relazionale; Linguaggio SQL; SQL nei Linguaggi di Programmazione; Normalizzazione delle Basi di Dati; Tecnologia delle Basi di Dati; Strutture Fisiche in Memoria Secondaria; No-SQL.

**MODALITA' DIDATTICHE**

-Lezioni di teoria  
-Lezioni di esercitazione



---

**MODALITA' DI ESAME**

--



SCHEMA DELL' INSEGNAMENTO DI Calcolo delle probabilità  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE Probability calculus

Docenti: Marco Barchiesi

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
MAT/06	6	X				X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno.

**PREREQUISITI**

Conoscenza dei concetti matematici fondamentali.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

**CONOSCENZA E CAPACITA` DI COMPrensIONE**  
 Alla fine del corso lo/a studente/ssa dovrà dimostrare di conoscere la teoria base della probabilità. In particolare le nozioni di probabilità condizionale e di variabile aleatoria.

**CONOSCENZA E CAPACITA` DI COMPrensIONE APPLICATE**  
 Alla fine del corso lo/a studente/ssa dovrà saper risolvere esercizi elementari, ed avere le capacità di modellizzazione per risolvere semplici situazioni reali.

**AUTONOMIA DI GIUDIZIO**  
 Lo/a studente/ssa dovrà saper rilevare autonomamente il contesto di tipo probabilistico dei problemi, ed applicare gli opportuni modelli e metodi.

**ABILITA` COMUNICATIVE**  
 Lo/a studente/ssa dovrà sapersi esprimere con proprietà di linguaggio in merito a questioni di probabilità.

**CAPACITA` DI APPRENDERE**  
 Lo/a studente/ssa dovrà saper consultare manuali di probabilità di livello medio disponibili a livello universitario.

**CONTENUTI**

1. Nozioni preliminari  
 Le proprietà fondamentali della probabilità. La probabilità condizionale. Eventi indipendenti. Formula di disintegrazione, formula delle probabilità totali, formula di Bayes. Schema delle prove indipendenti.
2. Variabili aleatorie - prima parte  
 La nozione generale di variabile aleatoria. Variabili aleatorie discrete a valori reali. Media, varianza, covarianza, e loro proprietà. Variabili aleatorie indipendenti. Disuguaglianza di Chebyshev. Estensione della teoria alle variabili aleatorie a valori vettoriali. Densità notevoli: binomiale, ipergeometrica, geometrica, di Poisson.
3. Variabili aleatorie - seconda parte  
 Variabili aleatorie assolutamente continue. Densità di una variabile aleatoria, funzione di ripartizione. Nozioni di media, varianza, covarianza, e loro proprietà. Densità notevoli: uniforme, esponenziale, Gamma, Gaussiana.
4. Variabili aleatorie - terza parte  
 Media campionaria. La legge dei grandi numeri. Teorema del Limite Centrale. Vettori aleatori assolutamente continui. Variabili aleatorie complesse e funzione caratteristica. Vettori normali multivariati (varie



caratterizzazioni).

5. Introduzione ai processi stocastici. Processi Gaussiani e di Levy. Alcuni esempi: processi di Poisson e moti Browniani (cenni).

#### **MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni frontali, sia di carattere teorico sia rivolte alla risoluzione di esercizi.

#### **MODALITA' DI ESAME**

Esame scritto e colloquio.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Calcolabilità, Complessità e Logica  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Calcolability, Complexity and Logics*

Docenti: Adriano Peron

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	9		X		X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno.

**PREREQUISITI**

Familiarità con le nozioni elementari di algebra e analisi

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Conoscenza e capacità di comprensione. Acquisire la conoscenza dei concetti di calcolabilità, di computabilità e le nozioni elementari dei formalismi della logica proposizionale e dei predicati.

Conoscenza e capacità di comprensione applicate. Acquisire la capacità di definire in modo formale i problemi utilizzando il linguaggio della logica o di specificarlo in uno dei modelli computazionali studiati.

Autonomia di giudizio. Comprendere i limiti intrinseci derivanti dalla computabilità o dalla complessità intrinseca dei problemi per ragionare sulla natura e sui limiti dei problemi.

Abilità comunicativa. Capacità di definire in modo rigoroso e formale concetti e problemi.

Capacità di apprendere. Capacità di leggere in autonomia la letteratura che propone metodi formali per l'intelligenza artificiale e l'informatica in generale.

**CONTENUTI**

Il corso consiste di tre parti principali:

- Computabilità. Si vuole introdurre il concetto di macchina di Turing, di funziona calcolabile e si vuole mostrare l'esistenza di problemi non decidibili. Si introdurrà inoltre la gerarchia di Chomsky con particolare riguardo ai linguaggi regolari e liberi dal contesto. In relazione a queste due classi di linguaggi si studieranno anche gli automi regolari e gli automi a pila analizzando le proprietà di chiusura rispetto alle operazioni standard.
- Complessità. Si vogliono introdurre le nozioni di base di complessità, spaziale e temporale, introducendo le principali classi di complessità, P, NP, coNP e PSPACE. Per ciascuna classe si studieranno dei problemi rappresentativi della classe. Si vuole introdurre la nozione di problema completo e di riduzione, per poi trattare i diversi problemi aperti nell'ambito della complessità.
- Logica. Si vogliono introdurre le nozioni di base della logica proposizionale e dei predicati (al primo ordine). Si studieranno i problemi di soddisfacibilità e le loro proprietà computazionali. In particolare si utilizzerà la tecnica di risoluzione.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni frontali ed esercitazioni



---

**MODALITA' DI ESAME**

Esame scritto e orale sulla parte di logica e calcolabilità. Esame orale sulla parte di complessità.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Data analytics  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Data analytics*

Docenti: Nicola Torelli, Andrea De Lorenzo, Gioia Di Credico

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	12		X			X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Basi di Calcolo delle probabilità e di algebra lineare; Elementi di base di programmazione.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

- Conoscenza e capacità di comprensione: gli studenti dovranno mostrare di avere compreso le basi per l'utilizzo del software R a un livello intermedio e gli aspetti teorici sottostanti le tecniche di visualizzazione e di analisi esplorativa dei dati
- Conoscenza e capacità di comprensione applicate: lo studente dovrà mostrare di sapere impiegare il software R per l'analisi di insiemi di dati reali.
- Autonomia di giudizio: lo studente deve mostrare di sapere scegliere lo strumento più adeguato per la visualizzazione o per l'analisi di dati reali.
- Abilità comunicative: lo studente sarà in grado di comunicare efficacemente i risultati delle analisi dei dati utilizzando opportuni strumenti (incluso l'impiego di R per la gestione automatica di report)
- Capacità di apprendere: lo studente al termine del corso sarà in grado di leggere autonomamente manuali per l'uso avanzato di R per l'analisi dei dati.

**CONTENUTI**

- Introduzione a R per la gestione e la visualizzazione dei dati
- a. R ed R Studio
  - b. I concetti di base
  - c. L'aritmetica con R
  - d. I tipi di variabili e i principali oggetti
2. I dati e il data frame
- a. Importazione ed esportazione di dati
  - b. Manipolazione di data frame: primi esempi (selezione di casi, selezione di variabili, dati mancanti,
  - c. Ricodifica di una variabile categoriale
  - d. Ricodifica di una variabile quantitativa in classi
3. Introduzione all'analisi dei dati
- a. Ancora sulla manipolazione di data frames
  - b. Primi elementi per l'analisi esplorativa dei dati
  - c. Tabelle di frequenza e valutazione dell'indipendenza
  - d. Riassunti statistici: tendenza centrale, variabilità, simmetria, curtosi



4. Visualizzazione dei dati: una singola variabile

- a. I grafici in R
- b. Barplot, Istogrammi, boxplot e varianti
- c. Lisciamiento di un istogramma (metodo del nucleo)

5. Visualizzazione dei dati: analisi di variabili doppie

- a. Confronti tra distribuzioni: boxplot multipli, qq-plot. Strumenti di inferenza in R: test di ipotesi di uguaglianza di medie e ANOVA.
- b. Grafici per due variabili quantitative: il diagramma di dispersione e la funzione plot in R
- c. Sintetizzare relazioni tra variabili: covarianza/correlazione
- d. L'analisi di regressione lineare: la funzione lm() in R
- e. Visualizzare relazioni fra variabili in un diagramma di dispersione
- f. Lisciamiento del diagramma di dispersione (metodo del nucleo, polinomi locali)

6. Sistemi di visualizzazione in R

- a. Gestione di grafici multipli
- b. Il pacchetto Lattice
- c. Il pacchetto ggplot2

7. Analisi e visualizzazione di variabili multiple con R

- a. Sistemi per la visualizzazione di dati multidimensionali
- b. Cenni sull'analisi di regressione multipla
- c. Metodi per la riduzione della dimensionalità (l'analisi in componenti principali)
- d. Metodi di raggruppamento gerarchico
- e. Metodi di raggruppamento non gerarchico (K-medie e varianti)

**MODALITA' DIDATTICHE**

**MODALITA' DI ESAME**



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Inferenza statistica  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE Statistical inference

Docenti: Roberta Pappadà, Nicola Torelli

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
SECS-S/01	9		X		X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Gli studenti devono possedere le nozioni di base dell'analisi matematica, del calcolo delle probabilità e di analisi statistica descrittiva.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Il corso si propone di fornire un'introduzione ai problemi e ai metodi dell'inferenza statistica classica. Al termine del corso lo studente avrà acquisito la conoscenza e capacità di comprensione degli strumenti di calcolo delle probabilità, con particolare riguardo alle principali famiglie di distribuzioni parametriche ed ai principi basilari dell'inferenza statistica. Inoltre, lo studente saprà risolvere semplici problemi teorici e ripercorrere le dimostrazioni di alcuni risultati notevoli; saprà affrontare problemi relativi alla stima e alla verifica di ipotesi in alcune semplici situazioni; saprà usare il software statistico R a livello base e programmare semplici studi di simulazione per verificare alcuni dei risultati teorici appresi a lezione (conoscenza e capacità di comprensione applicate). Infine lo studente saprà scegliere criticamente e in modo appropriato quale tecnica inferenziale utilizzare in casi concreti.

**CONTENUTI**

1. Introduzione all'inferenza statistica
2. Richiami e complementi di calcolo delle probabilità.  
 Variabili aleatorie (v.a.), loro proprietà essenziali e modelli parametrici notevoli per variabili discrete e continue. Trasformazioni e combinazioni lineari di v.a. Cenni alle successioni e alla convergenza di v.a., legge dei grandi numeri, teorema del limite centrale.
3. Inferenza statistica
  - (a) Introduzione ai problemi di inferenza statistica: inferenza parametrica e non parametrica. Le statistiche campionarie e loro distribuzione. Variabili aleatorie Chi-quadrato, t di Student ed F di Snedecor.
  - (b) Stima puntuale. Proprietà di uno stimatore e metodi per la ricerca di stimatori. Stimatori di massima verosimiglianza e loro proprietà. Intervalli di confidenza. Alcuni esempi notevoli. Cenni all'approccio Bayesiano.
  - (c) Problemi di verifica di ipotesi parametriche e test di significatività. L'approccio di Neyman-Pearson. Alcuni esempi notevoli. Verifica di ipotesi non parametriche.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Il corso si svolge mediante lezioni frontali e un ciclo di esercitazioni pratiche, alcune delle quali condotte in aula informatica con l'ausilio del software R. Viene favorito l'attivo coinvolgimento degli studenti in aula,



chiamati a intervenire e a rispondere a sollecitazioni del docente; sono previsti esercizi teorici e pratici da svolgere a casa e consegnare durante il periodo di lezione.

#### MODALITA' DI ESAME

L'esame prevede una prova scritta che consiste nello svolgimento di esercizi in cui si chiede di applicare correttamente i metodi dell'inferenza per risolvere problemi simili a quelli svolti a lezione. Chi supera la prova scritta con un voto minimo di 18/30 è ammesso a una prova orale.

La prova orale consiste in una verifica sull'intero programma del corso inclusa la conoscenza delle nozioni su R proposte nel corso. A tal fine lo studente potrà decidere se desidera che tale verifica sia effettuata discutendo un esercizio svolto con R da presentare e discutere durante l'orale. Tale esercizio viene assegnato su richiesta dello studente al termine del ciclo di laboratori oppure su richiesta all'atto della prima iscrizione all'esame.

La prova scritta contiene esercizi che mirano a verificare la capacità dello studente di applicare le nozioni acquisite alla risoluzione di problemi.

La prova orale mira a valutare la comprensione di alcuni dei temi più rilevanti, la capacità di ripercorrere alcune dimostrazioni notevoli, il pensiero critico nel saper riconoscere la fondatezza degli assunti sottesi ad alcuni dei procedimenti. La prova orale consente inoltre di verificare la conoscenza del linguaggio R e la capacità di utilizzarlo in semplici studi di simulazione. L'esercitazione pratica, quando lo studente decida di svolgerla, consente inoltre di verificare la capacità di affrontare semplici problemi di calcolo statistico e di predisporre un breve rapporto che illustri il lavoro svolto e i risultati ottenuti. Il voto finale è una media ponderata del voto conseguito nelle due prove (con peso 0.7 alla prova orale).



SCHEDELL' INSEGNAMENTO DI Introduzione alla programmazione e laboratorio  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE Introduction to programming

Docenti: Giulio Caravagna, Stefano Alberto Russo

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	12	X			X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Nessuno

**OBIETTIVI FORMATIVI**

In questo corso studieremo i modelli teorici alla base dei paradigmi di programmazione imperativa, funzionale ed a oggetti. Questi modelli forniscono le basi necessarie per imparare rapidamente a programmare in differenti linguaggi. Nella parte pratica delle lezioni useremo Python e C, imparandone i costrutti fondamentali, le classi e l'implementazione di strutture dati. Cenni di argomenti avanzati riguardanti la teoria degli algoritmi e della complessità, e della progettazione software saranno presentati.

Knowledge and understanding: conoscenza fondamentali della programmazione per scrivere codice in diversi paradigmi, capacita di realizzare un software nella sua interezza (progettazione dell'architettura, pseudocodice e implementazione).

Application of knowledge and understanding: capacita di scrivere un programma completo in Python e C, e di imparare altri linguaggi in tempi ridotti.

Communication skills: capacita di comunicare concetti in modo efficace con non-esperti ed esperti.

Learning skills: capacita di costruzione di un software completo in due linguaggi distinti, della sua ottimizzazione e debugging.

**CONTENUTI**

- Modelli teorici per la programmazione in linguaggi imperativi, cenni per funzionali ed a oggetti
- Programmazione in C e Python (costrutti di base, costrutti avanzati, classi, strutture dati)
- Cenni di argomenti avanzati (algoritmi, complessità, progettazione software)
- Laboratorio di programmazione (ciclo completo di sviluppo software, in Python, con gestione del codice, unit tests etc.)

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezione frontale. Per la parte pratica, utilizzo del computer.

**MODALITA' DI ESAME**

Esame scritto con orale opzionale. Da valutare la possibilita di fare prove intermedie. Per il laboratorio, un progetto di programmazione.





SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Introduzione all'Intelligenza artificiale  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Introduction to Artificial Intelligence*

Docenti: Laura Nenzi

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	9			X		X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Basi di programmazione, logica, algoritmi e complessità.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Lo scopo del corso è quello di formare persone in grado di comprendere ed applicare tecniche di intelligenza artificiale classica a molteplici ambiti applicativi, dalla pianificazione automatica al soddisfacimento di vincoli, al controllo di agenti intelligenti.

**CONTENUTI**

Il corso tratterà i metodi di intelligenza artificiale classica, a partire dalle tecniche di ricerca per poi proseguire con il trattamento dei problemi di soddisfacibilità di vincoli, l'utilizzo di tecniche provenienti dalla logica e la pianificazione di azioni complesse.

**MODALITA' DIDATTICHE**

L'apprendimento avverrà tramite lezioni frontali ed esercitazioni

**MODALITA' DI ESAME**

La verifica dell'apprendimento avverrà tramite una prova scritta e una prova orale il cui accesso sarà vincolato al superamento della prova scritta.



SCHEDELL' INSEGNAMENTO DI Introduzione al Machine Learning  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Introduction to Machine Learning*

Docenti: Luca Bortolussi, Alejandro Rodriguez Garcia, Fabio Anselmi

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	15			X	X	X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Conoscenza di base di Python e scientific Python. Conoscenza delle operazioni matriciali e Calculus.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Il corso è un'introduzione alla teoria e alle tecniche di machine learning per la creazione di modelli di apprendimento da dati.

Conoscenza e Comprensione: Lo studente acquisirà una comprensione basica delle tecniche piu' comuni di apprendimento supervisionato (e non) oltre alla capacità di quantificare e valutare le prestazioni dei vari modelli.

Applicazione della conoscenza: Lo studente sarà capace di sviluppare da zero un modello di apprendimento automatico a partire dalla pre-elaborazione dei dati grezzi fino alla presentazione dei risultati finali di regressione, classificazione o analisi di clustering.

Capacità comunicative: lo studente acquisirà la capacità di presentare i risultati del modello di machine learning sviluppato assieme ad una spiegazione delle motivazioni che hanno portato a tale scelta.

Capacità di apprendimento: lo studente sarà capace di orientarsi nella letteratura del machine learning e di confrontare e migliorare il modello scelto.

**CONTENUTI**

1. Nozioni di base, regressione lineare e logistica.
2. Complessita' del modello, relazione Bias-Varianza, regolarizzazione, valutazione del modello.
3. Alberi decisionali e classificatori K-NN.
4. PCA e riduzione di dimensionalita', stima della densita' di probabilita', metodi di clustering.
5. Support Vector Machines e metodi kernel
6. Reti neurali e deep learning.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni frontali, esercitazioni in classe, esercitazioni a casa e progetti di gruppo.

**MODALITA' DI ESAME**



L'esame consisterà di due parti

1. Un progetto di gruppo (2 o 3 studenti). Ogni gruppo avrà uno o più obiettivi, tipicamente l'analisi di un dataset complesso o di una metodologia in dettaglio, e alla fine ci sarà una breve presentazione sul lavoro fatto (con codice commentato).
2. un esame orale con alcune domande per testare il contributo di ogni membro del gruppo e la sua preparazione rispetto agli argomenti del corso.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Metodi e modelli matematici per l'Intelligenza artificiale  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE Methods and mathematical models for artificial intelligence.

Docenti: Stefano Scrobogna

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
MAT/05	6		X		X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno.

**PREREQUISITI**

Numeri complessi. Algebra lineare. Calcolo differenziale e integrale per funzioni di più variabili. Serie numeriche e di funzioni.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

L'insegnamento ha lo scopo di fornire conoscenze di base su funzioni di variabile complessa, analisi di Fourier, trasformate funzionali, nonché di introdurre gli studenti alla modellizzazione e alla soluzione di semplici problemi di interesse applicativo che fanno uso degli strumenti matematici sviluppati.

**CONTENUTI**

Introduzione all'analisi di Fourier e concetti basi di Analisi Funzionale con applicazioni

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni ed esercitazioni frontali.

**MODALITA' DI ESAME**

L'esame consiste di una prova scritta e di una prova orale, riguardanti gli aspetti pratici (esercizi) e teorici (definizioni, enunciati, dimostrazioni) del corso. Si accede alla prova orale solo dopo aver superato la prova scritta.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Programmazione avanzata e parallela  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Advanced and parallel programming*

Docenti: *Alberto Casagrande*

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
ING-INF/05	9			X	X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: **Introduzione alla programmazione e laboratorio**

**PREREQUISITI**

Conoscenza della programmazione imperativa. Nozioni di base del corso di algoritmi: liste, code, pile, heap binari. Processi, thread, memoria condivisa, regioni critiche, lock e semafori.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

L'insegnamento si prefigge di introdurre gli studenti alla programmazione orientata agli oggetti e far acquisire gli strumenti necessari a sviluppare software complessi sfruttando le astrazioni concettuali fornite da tale paradigma. Oltre a ciò questo insegnamento si prefigge di approfondire le nozioni di concorrenza e parallelismo, di introdurre i più recenti modelli di calcolo paralleli e di consentire gli studenti di sfruttare i dispositivi che li implementano utilizzando il linguaggio openCL.

**CONTENUTI**

L'insegnamento presenta il paradigma di programmazione orientato agli oggetti utilizzando come linguaggio dimostrativo il C++14, descrive modelli di calcolo paralleli basati su CPU e GPU e introduce il linguaggio di programmazione openCL.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni frontali esempi e esercitazioni.

**MODALITA' DI ESAME**

La verifica consisterà in due prove: un progetto e un esame scritto. Il progetto, i cui dettagli verranno rilasciati a un mese dall'inizio della sessione d'esame, ha lo scopo di verificare la capacità di applicare le nozioni acquisite durante l'insegnamento. La prova scritta accerta le conoscenze delle nozioni trattate durante il semestre.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Sistemi dinamici discreti  
 TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Discrete dynamic systems*

Docenti: Gianfranco Fenu, Thomas Parisini

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
ING-INF/04	9				X		X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Conoscenze di base: Elementi di analisi matematica con riferimento particolare allo studio di equazioni differenziali ed equazioni alle differenze; studio di funzioni di variabile complessa; elementi di algebra lineare; elementi di base di teoria dei sistemi dinamici a tempo continuo e tempo discreto.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

L'obiettivo formativo del corso consiste nel fornire agli studenti gli elementi avanzati per l'analisi dei sistemi dinamici a tempo discreto, sia in contesto deterministico che stocastico, per l'analisi e la realizzazione di algoritmi di stima, predizione e identificazione di modelli a partire da dati sperimentali e per la sintesi e implementazione di algoritmi di stima dello stato di sistemi dinamici sia in contesto deterministico che stocastico.

Conoscenza e capacità di comprensione: Lo studente, al termine del corso, dovrà conoscere i principi avanzati di analisi di sistemi dinamici deterministici e stocastici a tempo discreto. Lo studente dovrà inoltre conoscere e comprendere da testi di riferimento e specifiche ingegneristiche le principali tecniche di stima parametrica, identificazione di modelli dinamici stocastici e stima dello stato.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Lo studente dovrà essere in grado di effettuare un'analisi completa delle proprietà di sistemi dinamici deterministici e stocastici a tempo discreto e dovrà essere altresì in grado di progettare e implementare algoritmi di stima parametrica, identificazione di modelli dinamici stocastici e stima dello stato che facciano uso di dati disponibili o da acquisire in tempo reale e in riferimento a contesti applicativi di tipo ingegneristico.

Autonomia di giudizio: Lo studente, a partire dalle conoscenze acquisite, dovrà essere in grado di valutare in modo autonomo quale sia la scelta migliore nella disponibilità di tecniche di stima parametrica, identificazione di modelli dinamici stocastici e stima dello stato a partire dai requisiti di funzionamento ed i vincoli tecnologici.

Abilità comunicative: Lo studente dovrà essere in grado di descrivere la funzionalità di un sistema di stima parametrica, identificazione di modelli dinamici stocastici e stima dello stato con proprietà di terminologia.

Capacità di apprendimento: Lo studente dovrà essere in grado di interpretare e impiegare testi di riferimento sui sistemi dinamici, teoria e pratica di stima e identificazione di modelli

**CONTENUTI**



## 1. Generalità

Sistemi e modelli: definizioni, proprietà, problemi. Descrizione matematica dei sistemi. Modelli di sistemi a tempo continuo. Modelli di sistemi a tempo discreto. Funzione di transizione dello stato. Sistemi dinamici lineari. Esempi illustrativi.

## 2. Campionamento e rappresentazione a tempo-discreto di sistemi dinamici a tempo continuo

Teorema del campionamento e problema dell'aliasing. Determinazione di equazioni di stato e di funzioni di trasferimento a tempo discreto a partire da modelli a tempo continuo tramite campionamento.

## 3. Evoluzione temporale dello stato e dell'uscita dei sistemi dinamici lineari

Movimento dello stato e dell'uscita a tempo discreto. Modi di risposta e loro determinazione.

## 4. Stabilità dei sistemi dinamici a tempo discreto

Stati di equilibrio e definizione di stabilità. Teorema di Lyapunov nel caso lineare e non lineare. Determinazione di modelli lineari approssimati di sistemi non lineari e analisi di stabilità dell'equilibrio.

## 5. Identificazione di modelli da dati

Problemi e metodi. Leggi e modelli nell'ingegneria e nelle scienze. Il problema della stima e della predizione da osservazioni sperimentali: modelli per la predizione, il controllo; tecniche di trattamento dei dati.

## 6. Cenni su teoria della probabilità, variabili aleatorie, e processi stocastici a tempo discreto

Principali definizioni e strumenti: stazionarietà, media, covarianza e correlazione, densità spettrale di potenza. Processi bianchi.

## 7. Definizioni e proprietà sul problema della stima e della predizione

Teoria della stima e caratteristiche degli stimatori: polarizzazione, minima varianza, caratteristiche asintotiche (convergenza in probabilità, quasi certa, confidenza)

## 8. Modelli dinamici di processi stocastici stazionari a tempo discreto

Modelli AR, MA, ARMA, ARX, ARMAX. Analisi di correlazione e analisi spettrale. Fattorizzazione spettrale canonica.

## 9. Stima ai minimi quadrati

Soluzione del problema di regressione lineare. Interpretazione geometrica. Proprietà probabilistiche: polarizzazione, varianza, caratteristiche asintotiche della stima

## 10. Stima di Bayes



Generalità, stima ottima di Bayes, confronto con la stima lineare, stima di Bayes ricorsiva. Interpretazioni geometriche

11. Soluzione del problema della predizione

Cenni alla teoria della predizione ottima. Determinazione del predittore ottimo a partire da dati osservati. Modelli e predittori AR, ARX, ARMA, MA.

12. Identificazione di modelli dinamici stocastici a tempo discreto a partire da dati osservati

Identificazione lineare a minimizzazione dell'errore di predizione algoritmi batch e ricorsivi ai minimi quadrati, identificazione adattativa. Stima della complessità dei modelli (criteri Cross-validazione, AIC, MDL).

13. Stima dello stato a partire da dati osservati.

Generalità. Cenni alle proprietà di raggiungibilità e osservabilità, e a tecniche di realizzazione. Osservatori. Stima di Kalman.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni ex-cattedra, esercitazioni con utilizzo di strumenti avanzati di calcolo e simulazione al calcolatore.

Sul sito web del corso viene messo a disposizione in anticipo la traccia delle lezioni in versione stampabile nell'ottica di favorire il processo di apprendimento e di migliorare il trasferimento dei concetti durante le lezioni.

Si propone inoltre in via facoltativa ma consigliata lo svolgimento personale o in gruppo di alcune prove parziali durante il corso in cui è necessario risolvere problemi inerenti argomenti del corso ma di difficoltà superiore alla media. È opzione degli studenti che decidono di eseguire tali prove parziali di sottoporle in valutazione.

**MODALITA' DI ESAME**

Esame finale, con soluzione di problemi e domande di teoria. La prova d'esame consiste di una prova scritta e da una successiva prova orale. Il voto finale viene determinato tenendo conto sia della prova scritta che della prova orale. Di norma, le due prove sono sostenute nel medesimo appello d'esame. Prova scritta: la prova scritta è articolata in 3-4 domande estese, per la maggior parte esercizi, ma possono anche essere in parte quesiti che riguardino aspetti della teoria discussa durante il corso [Conoscenza e capacità di comprensione applicate, Autonomia di giudizio]. Gli esercizi della prova scritta avranno un livello di difficoltà non superiore al livello degli esercizi svolti nel corso delle Esercitazioni e si ispireranno agli esercizi ed agli esempi del libro/libri di testo utilizzato/i dal docente (libri indicati dal docente all'inizio del corso). Prova orale: la conoscenza e le abilità comunicative verranno valutate con una verifica orale, durante la quale lo studente risponde ad una o più domande relative agli argomenti trattati nell'insegnamento. La prova orale potrebbe includere anche la discussione della prova scritta.



SCHEDA DELL' INSEGNAMENTO DI Sistemi dinamici per l'intelligenza artificiale  
TITOLO INSEGNAMENTO IN INGLESE *Dinamic systems for Artificial Intelligence*

Docenti: Stefano Ruffo, Andrea Trombettoni

SSD	CFU	Anno di corso			Semestre		Lingua
		I	II	III	I	II	Italiano
INF/01	12		X			X	X

Insegnamenti propedeutici previsti: Nessuno

**PREREQUISITI**

Derivate ed integrali. Equazioni differenziali. Soluzioni numeriche di equazioni differenziali. Elementi di programmazione. Nozioni di probabilità. Serie e trasformata di Fourier.

**OBIETTIVI FORMATIVI**

Introdurre lo studente agli sviluppi recenti nello studio dei sistemi dinamici deterministici e stocastici, con lo scopo di fornire le basi conoscitive per la comprensione degli algoritmi dell'apprendimento automatico.  
 Conoscenza e comprensione – Apprendere le metodologie analitiche e numeriche alla base del comportamento dinamico degli algoritmi dell'apprendimento automatico.  
 Capacità di applicare conoscenza e comprensione- Mettere lo studente in grado di applicare agli algoritmi dell'apprendimento automatico le conoscenze apprese sulla teoria dei sistemi dinamici.  
 Abilità comunicative – Apprendere le proprietà fondamentali dell'evoluzione dinamica, sia deterministica che stocastica, acquisendo anche la capacità di comunicarne gli aspetti più importanti.  
 Abilità di apprendimento – Essere in grado di estendere le conoscenze apprese anche ad argomenti non direttamente trattati a lezione.

**CONTENUTI**

Introduzione alla teoria dei sistemi dinamici continui e discreti, anche in presenza di stocasticità, con l'obiettivo di comprendere gli algoritmi utilizzati nell'apprendimento automatico.

**MODALITA' DIDATTICHE**

Lezioni frontali. Esercitazioni in aula. Esercizi da risolvere a casa. Esercitazioni al computer.

**MODALITA' DI ESAME**

Esame scritto. Esame orale. Prove scritte in corso d'anno che, se superate, possono evitare l'esame scritto.