TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Corso di Laurea Triennale in Matematica

Informazioni
Segreteria didattica: *Cristiano Di Meo*, tel. 06 72594685
Coordinatrice Corso di Laurea: *Lucia Caramellino*
Sito web: `http://www.mat.uniroma2.it/didattica/`
E-mail: `dida@mat.uniroma2.it`

Il Corso di Laurea in Matematica si inquadra nella Classe delle Lauree in “Scienze Matematiche” (Classe L-35 del DM 16 marzo 2007). Il Corso afferisce al Dipartimento di Matematica e si svolge nella macroarea di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. La Coordinatrice del Corso di Studio è la Prof.ssa Lucia Caramellino.
La matematica è la lingua con cui è scritto l’Universo. È la base di tutte le scienze. È da sempre lo strumento più potente per costruire modelli, programmi, progetti. È al centro dell’informatica, dell’utilizzo dei computer e di molte applicazioni tecnologiche. Studiare matematica all’Università non significa passare il tempo a fare calcoli: è tutta un’altra cosa. È impadronirsi di strumenti per comprendere la realtà e interagire con essa. È avere a disposizione concetti, idee, teorie per rivelare la struttura nascosta della natura anche quando è straordinariamente complessa: come in un fiocco di neve o in una bolla di sapone, nei cristalli, nelle onde, nelle piume, nei fiori, nelle nuvole. È non accontentarsi di sapere che una cosa “funziona”, ma cercare di capire perché. La matematica è anche una delle espressioni più creative del pensiero umano: mai come in questa disciplina, per riuscire, è necessario coniugare il rigore logico con la fantasia. In effetti, il lavoro di moltissimi matematici è ispirato non solo da applicazioni immediate ma anche da esigenze interne della teoria, e – non ultimo – da un preciso senso estetico. I numeri primi sono stati studiati senza prevedere che sarebbero stati alla base del più diffuso sistema di trasmissione sicura dei dati attualmente in uso. L’aspetto creativo della matematica stupisce non poche matricole, malgrado il fatto che questa disciplina sia studiata fin dai primissimi anni di scuola.
Il Corso di Laurea in matematica dà una formazione “forte”. Chi segue il corso apprenderà le conoscenze fondamentali e acquisirà i metodi che vengono usati nella matematica (in particolare, nell’algebra, nell’analisi e nella geometria) ma anche le conoscenze necessarie per comprendere e utilizzare l’informatica e la fisica, per costruire modelli di fenomeni complessi (per esempio, l’andamento del prezzo di alcune azioni in Borsa o l’evolversi di un’epidemia) e per affrontare le simulazione numeriche che sono alla base di ogni applicazione tecnologica e sociale.

Premi e Borse

Il Dipartimento di Matematica ha istituito **5 premi dell’importo di 1000 euro ciascuno per chi si immatricola nell’AA 2025/26** al Corso di Laurea in Matematica. Informazioni dettagliate sono reperibili sul sito del corso di Laurea.

Indice

Presentazione del corso

Il Corso di Laurea offre la possibilità di capire le basi della matematica, di usare gli strumenti informatici e di calcolo, di comprendere e di usare i modelli matematici e statistici in mille possibili applicazioni scientifiche, tecniche ed economiche. La durata del Corso di Laurea è di tre anni.

Per le matricole

Test d'ingresso. Gli studenti interessati ad immatricolarsi al Corso di laurea in Matematica devono sostenere una "**prova di valutazione**" per la verifica delle conoscenze, secondo quanto prevede la normativa. Tale prova (che nel seguito chiameremo anche **"test"**) consiste in domande a risposta multipla su argomenti di base di matematica e viene effettuata online mediante apposito form contestualmente alla procedura di immatricolazione. **Un eventuale mancato superamento del test non preclude l'immatricolazione**. Coloro che non superino il test, come "**obbligo formativo aggiuntivo**", dovranno superare come prima prova un esame a scelta tra Analisi Matematica 1, Geometria 1. Gli obblighi formativi aggiuntivi assegnati devono essere colmati entro il primo anno. Chi desidera ripassare alcuni argomenti o colmare lacune può seguire **un corso intensivo di matematica di base**, detto **Matematica 0**, che si terrà dal 10 al 19 settembre. Per i dettagli cliccare qui .
È esonerato dal test chi ha superato l'esame di stato conclusivo del corso di studio di istruzione secondaria superiore con un voto pari o superiore a 95/100 (o 57/60).
IMPORTANTE: Chi è esonerato dall'obbligo di sostenere il test in base alla votazione conseguita all'esame di stato deve prima attivare la procedura di registrazione sul sito dei Servizi on-line dell'Ateneo, come indicato nell'articolo specifico dell'Avviso. Il personale della Segreteria Studenti dell'Area Scienze effettuerà controlli a campione sulla veridicità delle dichiarazioni rese e, se necessario, applicherà le procedure previste dalla normativa vigente in caso di dichiarazioni mendaci.
Esonero dal pagamento dei contributi universitari. Chi ottiene una medaglia olimpica ha diritto all'esonero dal pagamento delle tasse universitarie per l'intera durata del corso di studio, con l'obbligo di versare soltanto l'imposta di bollo e la tassa regionale. Chi si immatricola per la prima volta all'Università "Tor Vergata" a un corso di studio per il quale il titolo di accesso è il diploma di maturità e ha conseguito (presso una scuola italiana) una votazione pari a 100/100 (o 60/60), oppure risulta vincitore o vincitrice delle Olimpiadi Nazionali di Matematica, è esonerato dal pagamento del contributo universitario per il primo anno e deve versare soltanto l'imposta di bollo e la tassa regionale. Altre possibilità di esonero sono reperibili nella Guida dello Studente di Ateneo.
Liceo Matematico. Chi ha seguito il percorso del Liceo Matematico può chiedere il riconoscimento di 3CFU a valle della presentazione della relativa documentazione e di un colloquio con la Coordinatrice o con un docente da questa designato.
Tutori. A chi si immatricola viene assegnato un docente tutor che potrà essere consultato per consigli e suggerimenti in merito all'andamento delle attività di studio.
Orientamento. Vengono organizzate attività di accoglienza ed orientamento sia dal Corso di Laurea che dalla macroarea di Scienze.
Borse di studio e premi. Il Dipartimento di Matematica bandisce 5 premi da 1.000 euro ciascuno per chi si immatricola nell'AA. 2025/26. Informazioni dettagliate sono reperibili sul sito del corso di Laurea.
Informazioni. Per informazioni sulla didattica è possibile rivolgersi alla segreteria del Corso di Laurea, Cristiano Di Meo, `dimeo@mat.uniroma2.it`, tel. 06 72594685, presso il Dipartimento di Matematica. Le informazioni sono comunque riportate nel sito del corso di Laurea. Ulteriori informazioni si possono anche ottenere per posta elettronica all'indirizzo `dida@mat.uniroma2.it`.

I tre anni di studio di matematica a Tor Vergata prevedono un biennio uguale per tutti ma, all'ultimo anno, si ha la possibilità di scegliere alcuni corsi opzionali. Agli studenti vengono offerte anche attività esterne come stage presso aziende, strutture della pubblica amministrazione e laboratori, nonché soggiorni presso università straniere nell'ambito del programma Erasmus, per il quale sono in corso di potenziamento accordi con prestigiose istituzioni.
Studiare matematica a Tor Vergata significa poter frequentare un corso di studi completo (laurea triennale in matematica, magistrale in matematica pura ed applicata e scuola di dottorato), ove tutti i settori della ricerca, dai più tradizionali ai più recenti, sono rappresentati. Inoltre, qui si ha la possibilità di interagire con gruppi di ricerca di punta a livello nazionale e internazionale. Le indagini sulla ricerca nell'area matematica svolte dal Ministero per l'Università e da Enti stranieri indicano il Dipartimento di Matematica di Tor Vergata come dipartimento di eccellenza in Italia e centro di eccellenza a livello europeo.

Sbocchi lavorativi

Una laurea in matematica permette non solo di avviarsi verso una carriera di ricercatore o di insegnante, continuando gli studi, ma anche e soprattutto di entrare direttamente nel mondo del lavoro in moltissimi settori, dalla finanza all'informatica, dalla medicina all'ingegneria, dalle scienze sociali alla produzione alimentare. Ovunque ci sia bisogno di costruire dei modelli che funzionino, c'è bisogno di un matematico. Fino a pochi anni fa, per molte professioni era sufficiente una formazione matematica abbastanza sommaria ma oggi lo sviluppo delle capacità di calcolo ha reso utilizzabili in pratica molte teorie avanzate che solo ieri sembravano troppo complicate ed astratte per essere di qualche utilità. Chi è in grado di avvalersi di queste nuove possibilità va avanti; gli altri, invece, restano indietro e perdono competitività. Per questo ci sono molti ambiti professionali nei quali è diventato indispensabile inserire un matematico nell'equipe. Il matematico si affianca all'ingegnere ad esempio per la costruzione delle nuove barche per le regate internazionali oppure per la progettazione di protocolli di trasmissione per le telecomunicazioni o le realizzazioni relative alla robotica ed alla domotica ed in generale all'industria 4.0. Si affianca al biologo che studia il sequenziamento del DNA umano ed al climatologo che analizza i cambiamenti climatici. La sua presenza è fondamentale negli uffici analisi delle grandi banche, dove è necessario sviluppare modelli complessi per la valutazione dei rischi e la determinazione dei prezzi dei derivati finanziari. Tutto questo è ampiamente documentato in un' articolata analisi dei diversi impieghi ad alto livello dei laureati in Matematica in Italia. L'applicazione della matematica è poi particolarmente evidente nel campo informatico: i computer di domani (e tutto il mondo complesso del trasferimento dell'informazione) nascono dalla ricerca matematica di oggi. Da una parte, le conoscenze matematiche portano allo sviluppo dell'informatica, dall'altra il computer, aumentando la sua potenza di calcolo, consente l'uso di nuovi strumenti matematici per la soluzione di problemi complessi in ogni settore della conoscenza umana. Non c'è dunque da meravigliarsi se diciamo che i matematici sono una grande comunità internazionale, collaborano molto tra loro e danno vita a gruppi di ricerca di altissimo livello. Una comunità di cui si fa parte con enorme piacere e in cui c'è largo spazio per i giovani che con le loro idee innovative hanno da sempre dato un impulso decisivo allo sviluppo di questa disciplina.

Descrittori di Dublino

I Descrittori di Dublino di seguito riportati sono enunciazioni generali dei tipici risultati conseguiti dagli studenti che hanno ottenuto il titolo dopo aver completato con successo il ciclo di studio. Gli obiettivi formativi dei corsi di Laurea Triennale (e Magistrale) sono impostati in base ad essi.

Abilità comunicative. I laureati in matematica sono in grado di:
- comunicare problemi, idee e soluzioni riguardanti la matematica, sia proprie sia di altri autori, a un pubblico specializzato o generico, nella propria lingua e in inglese, sia in forma scritta che orale;
- lavorare in gruppo e operare con definiti gradi di autonomia.

Gli strumenti didattici utilizzati per l'acquisizione di queste competenze sono soprattutto le esercitazioni e l'attività tutoriale, volte a sviluppare l'esposizione sia scritta che orale, ma anche specifici insegnamenti di lingua inglese, nonché l'assistenza didattica offerta per la preparazione della prova finale.
L'acquisizione di tali risultati viene verificata in sede d'esame, ivi inclusa la prova finale.

Capacità di apprendimento. I laureati in matematica:
- sono in grado di proseguire gli studi, sia in matematica che in altre discipline, con un alto grado di autonomia;
- hanno una mentalità flessibile e si adattano facilmente a nuove problematiche, caratteristiche indispensabili per inserirsi prontamente negli ambienti di lavoro.

Queste capacità vengono sviluppate mantenendo un adeguato livello di astrazione degli insegnamenti impartiti e curando l'allenamento alla risoluzione di problemi nel lavoro sia individuale che di gruppo, attraverso l'organizzazione delle esercitazioni, l'attività tutoriale e la preparazione alla prova finale.
La loro verifica ha luogo in sede d'esame, ivi inclusa la prova finale.

Autonomia di giudizio. I laureati in matematica:
- sono in grado di costruire e sviluppare argomentazioni logiche con una chiara identificazione di assunti e conclusioni;
- sono in grado di riconoscere dimostrazioni corrette, e di individuare ragionamenti fallaci;
- sono in grado di proporre e analizzare modelli matematici associati a situazioni concrete derivanti da altre discipline, e di usare tali modelli per facilitare lo studio della situazione originale;
- hanno esperienza di lavoro di gruppo, ma sanno anche lavorare bene autonomamente.

I principali strumenti didattici per l'acquisizione di queste competenze, per loro natura trasversali, sono:
- l'elevato livello di rigore degli insegnamenti relativi ai crediti formativi di base;
- l'allenamento alla modellizzazione acquisito attraverso crediti formativi di base, caratterizzanti e affini, quali ad esempio quelli relativi ai settori MAT/06, MAT/07, MAT/08, FIS/01;
- l'attività tutoriale e di laboratorio.

L'acquisizione di tali risultati viene verificata in sede d'esame.

Conoscenza e comprensione. I laureati in matematica sono capaci di leggere e comprendere testi anche avanzati di matematica, e di consultare articoli di ricerca in matematica.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione. La formazione in ambito teorico assicura che i laureati in matematica sono in grado di:
- produrre dimostrazioni rigorose di risultati matematici non identici a quelli già conosciuti ma chiaramente correlati a essi;
- risolvere problemi di moderata difficoltà in diversi campi della matematica.

Ordinamento degli studi

Sul sito web del Corso di Laurea si trova il Regolamento che con i suoi articoli disciplina e specifica gli aspetti organizzativi del Corso di Laurea.

Piano didattico

Il Corso di Laurea in Matematica prevede un unico curriculum nell'ambito del quale è definito un insieme di moduli didattici obbligatori ed uno spazio per le scelte autonome.
Nelle tabelle successive la sigla CFU indica i crediti formativi universitari. Ogni CFU vale, convenzionalmente, 25 ore di lavoro (comprendendo le ore di lezione, di esercitazione e il lavoro individuale). Per i nostri insegnamenti, 1 CFU corrisponde al lavoro necessario per seguire e comprendere 8/10 ore di lezione. Come indicato nel seguito (vedi la descrizione della prova finale), alla fine del corso

di studi la media viene calcolata pesando i voti con il numero di CFU del corso a cui si riferiscono. In altre parole, i corsi con molti CFU richiedono più lavoro, ma un buon voto in uno di essi conta di più alla fine. Per potersi laureare, è necessario maturare almeno 180 CFU.

Insegnamenti obbligatori e schema del piano di studio

1° ANNO: 59 CFU / 6 esami + una prova di idoneità			
Insegnamento	**CFU**	**Semestre**	**Settore**
Analisi Matematica 1	9	1	MAT/05
Geometria 1	10	1	MAT/03
Laboratorio di Programmazione e Informatica 1	6+4	1	INF/01
Inglese	4	1	L-LIN/12
Algebra 1	8	2	MAT/02
Analisi Matematica 2	9	2	MAT/05
Geometria 2	9	2	MAT/03

2° ANNO: 60 CFU / 8 esami			
Insegnamento	**CFU**	**Semestre**	**Settore**
Analisi Matematica 3	10	1	MAT/05
Fisica 1	9	1	FIS/01
Geometria 3	9	1	MAT/03
Algebra 2	7	2	MAT/02
Analisi Matematica 4	8	2	MAT/05
Fisica Matematica 1	8	2	MAT/07
Probabilità(1)	9	2	MAT/06

(1)Per gli immatricolati fino all'A.A. 2024/25, la denominazione del corso è *Probabilità e Statistica*.

3° ANNO: 61 CFU / 6 esami			
Insegnamento	**CFU**	**Semestre**	**Settore**
Analisi Numerica 1 + Laboratorio di Calcolo 2	8+4	1	MAT/08 + INF/01
Fisica 2	7	1	FIS/01
Geometria 4	8	1	MAT/03
Un esame a scelta tra(2): Laboratorio di Sperimentazione di Fisica/Laboratorio Computazionale/Laboratorio di Macchine per la Fisica e la Matematica	3	1 o 2	FIS/01 o INF/01
Fisica Matematica 2	8	2	MAT/07
Esame di indirizzo (settori affini e integrativi)(3)	6	-	-
Esami a scelta	12	-	-
Prova finale	5	-	-

(2)Dettagli su semestre e settore sono disponibili nella successiva tabella degli insegnamenti opzionali.
(3)L'insegnamento di questa sezione va selezionato tra quelli offerti nella programmazione didattica (si veda la successiva tabella degli insegnamenti opzionali).

NOTE.

- Il settore (quarta colonna) individua la materia del corso. La legenda dei settori è disponibile a pagina 35.
- Per i corsi *Laboratorio di Programmazione e Informatica 1* (1° anno) e *Analisi Numerica 1 + Laboratorio di Calcolo 2* (3° anno) è previsto un unico esame finale con votazione complessiva unica.
- Come indicato nella tabella del 3° anno, oltre ai corsi obbligatori, il piano di studio deve includere un insegnamento a scelta da 6 CFU appartenente ai settori MAT/01–09 o INF/01 selezionato tra quelli offerti nella programmazione didattica del Corso di Laurea in Matematica (si veda la tabella dei corsi opzionali). Inoltre, è necessario inserire insegnamenti a libera scelta per un totale di 12 CFU.
- Alla prova finale sono riservati 5 CFU, maturabili con l'esame di cultura o con la redazione di una tesina. Ogni anno viene attivato un insegnamento di preparazione all'esame di cultura, necessario per gli studenti che scelgono questa modalità di prova finale.

Elenco degli insegnamenti opzionali

3° ANNO - Insegnamenti opzionali			
Insegnamento	**CFU**	**Semestre**	**Settore**
Crittografia	6	1	MAT/03
Laboratorio di Sperimentazioni di Fisica[(4)]	3	1	FIS/01
Probabilità e Finanza	6	1	MAT/06
Statistica	6	1	MAT/06
Algebra 3	6	2	MAT/02
Analisi Matematica 5	6	2	MAT/05
Analisi Matematica 6	6	2	MAT/05
Analisi Numerica 2	6	2	MAT/08
Fondamenti di Programmazione: Metodi Evoluti	6	2	INF/01
Geometria 5	6	2	MAT/03
Laboratorio Computazionale[(4)]	3	2	INF/01
Laboratorio di Macchine per la Fisica e la Matematica[(4)]	3	2	INF/01
Preparazione esame cultura	5	2	-

[(4)]Il piano di studio deve includere almeno uno dei tre laboratori previsti nel terzo anno.

Calendario 2025/2026

I corsi hanno durata semestrale. I corsi del primo semestre si terranno dal 29 settembre 2025 al 16 gennaio 2026, quelli del secondo semestre dal 2 marzo 2026 al 5 giugno 2026. I corsi del primo semestre del primo anno inizieranno il 22 settembre 2025 e avranno una settimana di interruzione delle lezioni dal 10 al 14 novembre 2025. Durante questa settimana si svolgeranno eventuali prove di esonero. Il 10 settembre 2025 alle ore 10.00, in aula 11, si terrà un incontro con gli studenti nel quale i docenti illustreranno brevemente i programmi dei corsi opzionali.
Frequentare le lezioni è considerata una strategia efficace per un percorso formativo di qualità. Permette di conoscere più a fondo gli argomenti trattati e favorisce occasioni di scambio e relazione con i docenti, con i compagni e con le compagne di corso. La vicinanza e il confronto con gli altri consentono, infatti, di reperire informazioni mancanti, correggere i propri errori. Ci si rende conto che non

si è soli a sperimentare delle difficoltà e si ha la possibilità di mettere in comune le proprie conoscenze. Partecipare attivamente alla vita universitaria significa anche cogliere le altre opportunità offerte dall'Ateneo: convegni, seminari, giornate di studio, assemblee studentesche, eventi di divulgazione e tanti altri eventi aperti a studenti e studentesse. Queste sono occasioni per approfondire temi e contenuti, dare il proprio contributo, confrontarsi con persone provenienti da ambiti diversi, oltre che per ampliare i propri orizzonti culturali e la propria vita sociale, rendendo in tal modo più ricco e stimolante il percorso di studi. Dunque la frequenza delle lezioni e la partecipazione ad eventi ed attività extra curriculari può essere un buon modo per creare nuovi gruppi all'interno dell'Università.

Docenti tutor

A chi si immatricola viene assegnato un docente tutor che potrà essere consultato per consigli e suggerimenti generali in merito all'andamento delle attività di studio. Al terzo anno è possibile sostituire il tutor assegnato con un altro docente che possa offrire supporto nella scelta dei corsi opzionali, in base alle inclinazioni individuali. Tutti i docenti dei corsi hanno un orario di ricevimento settimanale per eventuali chiarimenti sulla materia insegnata. Il contatto con i professori universitari è improntato su modalità differenti rispetto alla scuola: gli studenti e le studentesse dovranno farsi avanti in prima persona se occorre un chiarimento o un consiglio. Se se ne avverte la necessità ci sono sempre tempi e luoghi di contatto sia a lezione sia negli orari di ricevimento. Sul sito web del Corso di Studio, nella sezione tutoring, si può consultare l'assegnazione del docente tutor.

Esami

Gli insegnamenti del *primo semestre* prevedono
- due appelli di esame nella *sessione estiva anticipata* (febbraio),
- due appelli nella *sessione estiva* (giugno-luglio),
- due appelli nella *sessione autunnale* (settembre).

I corsi del *secondo semestre* prevedono
- due appelli nella *sessione estiva* (giugno-luglio),
- due appelli nella *sessione autunnale* (settembre),
- due appelli di esame nella *sessione invernale* (febbraio).

Il calendario degli esami è pubblicato nella sezione apposita del sito web del Corso di Studio. Lo studio universitario ha caratteristiche differenti da quello delle superiori. Le insicurezze collegate alla preparazione personale si attenuano notevolmente dopo aver sostenuto con successo i primi esami. Tuttavia, nessun metodo di studio può garantire buoni risultati senza tempo e impegno da parte di chi studia. Si può rendere l'apprendimento più organico, duraturo e appagante, ma nessun sistema può produrre risultati istantanei e senza sforzo.

Valutazione

Il punteggio della prova d'esame, ove presente, è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi. La prova di esame è valutata secondo i seguenti criteri:
- non idoneo: importanti carenze e/o inaccuratezza nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi;
- 18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili imperfezioni; capacità di analisi sintesi e autonomia di giudizio sufficienti;
- 21-23: conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica coerente;
- 24-26: discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso;
- 27-29: conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi, sintesi; buona autonomia di giudizio;

- 30-30 e lode: ottimo livello di conoscenza e comprensione degli argomenti; notevoli capacità di analisi e di sintesi e di autonomia di giudizio; argomentazioni espresse in modo originale.

Insegnamenti

L'elenco completo degli insegnamenti erogati è disponibile nella sezione insegnamenti del sito web del Corso di Studio. Gli insegnamenti sono sviluppati con contenuti e con ritmi didattici mirati ad assicurare un adeguato apprendimento in relazione al numero di ore di studio previsto per ciascun insegnamento. La frequenza ai corsi non è obbligatoria ma facilita l'apprendimento della materia. Per quanto riguarda i laboratori, la verifica di profitto avviene sulla base del lavoro svolto in aula, quindi la frequenza risulta necessaria. In caso di comprovata impossibilità a frequentare il laboratorio (per esempio nel caso di studenti lavoratori) possono essere concordate con i docenti responsabili altre forme di accertamento.
Ai fini di aggiornamento professionale e/o di arricchimento culturale o di integrazione curriculare, il Consiglio ogni anno stabilisce un elenco di corsi singoli, ovvero corsi fruibili da:

- iscritti ad università estere, o ad altre università italiane (previa autorizzazione dell'università frequentata o in attuazione di appositi accordi);
- laureati o soggetti comunque in possesso del titolo di studio previsto per l'immatricolazione ai corsi di laurea dell'Ateneo.

Chi rientra nelle tipologie sopra indicate (previa iscrizione al singolo corso) può sostenere il relativo esame di profitto e riceverne formale attestazione. Per l'anno accademico 2025/26 saranno fruibili tutti i corsi erogati.
A partire dall'anno accademico 2008/09,chi voglia usufruire della norma prevista dall'art. 6 del R.D. 1269/38 (la quale stabilisce che "Lo studente, oltre agli insegnamenti fondamentali ed al numero di insegnamenti complementari obbligatori per il conseguimento della laurea cui aspira, può iscriversi a qualsiasi altro insegnamento complementare del proprio Corso di Laurea e, per ciascun anno, a non più di due insegnamenti di altri corsi di laurea nella stessa Università") dovrà aver conseguito in precedenza almeno 20 CFU nei settori MAT/01-09. Gli interessati dovranno presentare domanda alla Coordinatrice del Corso di Laurea allegando il proprio piano di studi sul quale il Consiglio di Dipartimento sarà chiamato a dare un parere.

Presentazione del piano di studio

Entro il mese di novembre,chi è iscritto al terzo anno deve presentare al Corso di Laurea un piano di studio, in cui indica le proprie scelte relativamente alla parte opzionale del corso di studi. La Coordinatrice del Corso di Laurea sottopone i piani di studio all'approvazione del Consiglio del Dipartimento di Matematica. È possibile eventualmente apportare modifiche al piano di studio. In tal caso, è necessario sottoporre un nuovo piano di studio e richiederne l'approvazione.
Sul sito web del Corso di Studio, nella sezione piani di studio, sono disponibili le istruzioni per la compilazione e presentazione del piano di studio. Si ricorda che lo schema di piano di studio riportato sul sito consente di accumulare i crediti necessari per laurearsi con non più di 20 verifiche di profitto (ovvero 19 esami più la parte a scelta del piano di studio) come previsto dal DM 270/04.

Prova finale

La prova finale per il conseguimento della Laurea in Matematica è, di norma, scelta tra due tipi di prove, e cioè una tesina o un esame di cultura matematica.

- *Esame di cultura*: questo tipo di prova richiede il superamento di un esame scritto su argomenti di base appresi durante il corso di studi, che metta in risalto la comprensione e la capacità d'uso del carattere interdisciplinare di tali nozioni. Lo svolgimento della prova scritta è curato dalla Commissione di Laurea, con cui si discute l'elaborato nella seduta di laurea. Per agevolare chi sceglie questo tipo di prova finale, è previsto un apposito corso di Preparazione all'Esame di Cultura

(PEC), che si tiene nel secondo semestre del terzo anno. Questa scelta è particolarmente indicata per chi intende proseguire gli studi con la laurea magistrale.

- *Tesina*: questo tipo di prova richiede un adeguato approfondimento di un argomento affine al contenuto di un corso presente nel proprio piano di studi, oppure lo sviluppo di un tema non già coperto da corsi curricolari, ed è consigliato, in particolare, a chi non intende proseguire gli studi con la laurea magistrale. L'argomento della tesi deve essere concordato con il docente del corso di riferimento o con un altro docente scelto liberamente, che può coincidere con chi ha tenuto il corso e che svolge il ruolo di relatore. L'elaborato viene poi discusso e valutato durante la seduta di laurea.

Dettagli sulle modalità, le regole ed altre informazioni sulla prova finale possono essere trovate nella sezione esame di laurea del sito web del Corso di Studio.
Modalità diverse di prova finale possono essere autorizzate dal Consiglio del Dipartimento di Matematica, sulla base di una richiesta motivata. In particolare, in relazione a obiettivi specifici, possono essere previste attività esterne, come tirocini formativi presso aziende, strutture della pubblica amministrazione e laboratori, eventualmente in ambito internazionale. In ogni caso, occorre realizzare un documento scritto (eventualmente in una lingua diversa dall'italiano) e sostenere una prova orale. La discussione della prova finale avviene in seduta pubblica davanti a una commissione di docenti che esprime la valutazione complessiva in centodecimi eventualmente attribuendo la lode.

Trasferimenti

Coloro che si trasferiscono al Corso di Laurea in Matematica provenendo da altri corsi di studio possono chiedere il riconoscimento dei crediti relativi ad esami sostenuti nel corso di studio d'origine. Il Consiglio del Dipartimento di Matematica valuterà di volta in volta le singole richieste. Sul sito web del Corso di Studio, nella sezione trasferimenti, sono disponibili le istruzioni per ottenere un parere preventivo su eventuali convalide di esami sostenuti in precedenti corsi di laurea di provenienza. Chi proviene da altri corsi di studio deve sostenere il test di valutazione. L'esonero è possibile solo se nel corso di provenienza sono stati acquisiti crediti nel settore MAT. In tal caso, è sufficiente riempire il modulo reperibile sul sito web del Corso di Studio nella pagina della Laurea Triennale alla voce trasferimenti, che dovrà essere inviato in formato elettronico a `dida@mat.uniroma2.it` e consegnato in versione cartacea, debitamente firmato, presso la segreteria del Corso di Laurea in Matematica (Cristiano Di Meo).

Modalità di erogazione della didattica

La didattica si svolge in **presenza e la frequenza è fortemente consigliata**. Come supporto alla didattica, per la larga maggioranza degli insegnamenti, i docenti sono disponibili ad utilizzare le classi virtuali Teams per scambio di materiale, contatti con gli studenti, ricevimento e altro. Inoltre, alcuni docenti sono anche disponibili, su motivata richiesta degli studenti e subordinatamente alla disponibilità di strumenti adeguati ed efficienti, ad effettuare streaming e/o registrazione delle lezioni. Si ribadisce tuttavia che **lo streaming e/o la registrazione delle lezioni possono essere intesi unicamente come supporto collaterale alla didattica svolta in aula e non possono in alcun modo essere considerati come sostituto sistematico per essa.**

Programmi dei corsi

ALGEBRA 1

1° anno – 2° semestre

8 CFU – settore MAT/02 – 80 ore di lezione in aula

Docente: A. Santi (codocente: da definire)

Programma: Il programma comprende orientativamente i seguenti argomenti, che saranno svolti nell'ordine in cui qui di seguito sono elencati: tale lista potrà essere parzialmente modificata (per integrazione o per riduzione) secondo necessità. Fondamenti di algebra: 1. Insiemi, corrispondenze, funzioni, relazioni; 2. Insiemi con operazioni; 3. Numeri naturali e calcolo combinatorio; 4. Cardinalità; 5. Numeri interi; 6. Gruppi; 7. Anelli. Il programma è il medesimo per gli studenti frequentanti e non frequentanti

Obiettivi di apprendimento: Conseguire una buona conoscenza delle strutture algebriche principali - relazioni, equivalenze, gruppi, anelli, campi - includendo alcuni risultati di struttura per classi particolari e le relazioni notevoli tra i diversi tipi di struttura algebrica

Testi consigliati:
Note del corso
G. Campanella: *Appunti di Algebra 1 e 2 con esercizi*, Nuova Cultura, La Sapienza, 2010
G. M. Piacentini Cattaneo: *Algebra (Un approccio algoritmico)*, Zanichelli, 1996
S. Lang: *Algebra*, Springer, 2002

Modalità di esame: Prova scritta e prova orale

Program: The program contains the following topics, that will be treated in the same order as they are listed here below: this list might be partially modified (by addition or subtraction) as needed Foundations of algebra: 1. Sets, correspondences, functions, relations; 2. Sets with operations; 3. Natural numbers and combinatorics; 4. Cardinality; 5. Integer numbers; 6. Groups; 7. Rings. The program is the same for attending and non-attending students

Learning objectives: Achieve a good knowledge of the main algebraic structures - relations, equivalences, groups, rings, fields - including some structure results for special classes and the relevant relations among different types of algebraic structure

Text books:
Course notes
G. Campanella: *Appunti di Algebra 1 e 2 con esercizi*, Nuova Cultura, La Sapienza, 2010
G. M. Piacentini Cattaneo: *Algebra (Un approccio algoritmico)*, Zanichelli, 1996
S. Lang: *Algebra*, Springer, 2002

Exam mode: Written and oral exam

ALGEBRA 2

2° anno – 2° semestre

7 CFU – settore MAT/02 – 70 ore di lezione in aula – ulteriori 10 ore di tutorato

Docente: I. Damiani (codocente: da definire)

Programma: Il programma comprende orientativamente i seguenti argomenti, che saranno svolti nell'ordine in cui qui di seguito sono elencati: tale lista potrà essere parzialmente modificata (per integrazione o per riduzione) secondo necessità. TEORIA degli ANELLI (circa 10 ore): Moduli su anelli; struttura e classificazione dei moduli finitamente generati su domini a ideali principali. TEORIA dei GRUPPI (circa 20 ore): Richiami sulle basi della teoria. Il coniugio e i sottogruppi normali. Automorfismi, automorfismi interni. Azioni di gruppi su insiemi; orbite e quozienti. Risultati di struttura: Gruppo simmetrico e Teorema di Cayley; Teorema di Cauchy; p-gruppi, sottogruppi di Sylow; Teoremi di Sylow. Gruppi risolubili (eventualmente). TEORIA dei CAMPI e TEORIA di GALOIS (circa 30 ore): Caratteristica di un campo. Estensioni di campi. Campi di spezzamento. Estensioni normali e estensioni finite. Campi finiti: esistenza, unicità, struttura. Costruzioni con riga e compasso (eventualmente). Gruppo di Galois di un'estensione; corrispondenza di Galois. Teorema Fondamentale dell'Algebra. Estensioni risolubili per radicali, Teorema di Abel-Ruffini (eventualmente). NB per gli studenti: La scansione temporale riportata sopra risponde ad una richiesta burocratica ma è puramente indicativa. Non è la standardizzazione a garantire la qualità della didattica, ma l'attenzione ai dubbi e alle domande degli studenti, che in certa misura possono determinare l'andamento delle lezioni e la distribuzione degli argomenti

Obiettivi di apprendimento: Conseguire una buona conoscenza delle strutture algebriche principali - gruppi, anelli, campi - includendo alcuni risultati di struttura per classi particolari e le relazioni notevoli tra i diversi tipi di struttura algebrica

Testi consigliati:
Note del corso
Schoof, van Geemen Algebra (note)
G. Campanella: *Appunti di Algebra 1 e 2 con esercizi*, Nuova Cultura, La Sapienza, 2010
G. M. Piacentini Cattaneo: *Algebra (Un approccio algoritmico)*, Zanichelli, 1996
I. N. Herstein: *Topics In Algebra*, John Wiley & Sons, 1975
M. Artin: *Algebra*, Bollati Boringhieri, 1997
R. Chirivì, I. Del Corso, R. Dvornicich: *Esercizi scelti di Algebra: Vol. 1 e 2*, Springer, 2017, 2018
S. Lang: *Algebra*, Springer, 2002
F. Stumbo: *Appunti di algebra*, Aracne, 2010

Modalità di esame: Prova scritta e prova orale

Program: The program contains the following topics, that will be treated in the same order as they are listed here below: this list might be partially modified (by addition or subtraction) as needed.

RING THEORY (10 hours): Modules over rings; structure and classification of the finitely generated modules over PID. GROUP THEORY (20 hours): Reminders of the basics of the theory. Conjugation and normal subgroups. Automorphisms, inner automorphisms. Actions of groups on sets; orbits and quotients. Structure results: Symmetric group and Cayley's Theorem; Cauchy's Theorem; p-groups, Sylow's subgroups; Sylow's theorems. Structure and classification of finite Abelian groups. Solvable groups (possibly). FIELD THEORY and GALOIS' THEORY (30 hours): Characteristic of a field. Fields extensions. Splitting fields. Normal extensions and finite extensions. Finite fields: existence, uniqueness, structure. Ruler and compass constructions (possibly). Galois group of an extension; Galois' correspondence. The Fundamental Theorem of Algebra. Extensions solvable by radicals; Theorem of Abel-Ruffini (possibly).

REMARK for the students. The schedule above is just an approximation. Quality is guaranteed not by standardization, but by attention to doubts and questions from the audience, that somehow determine times and distribution of the arguments

Learning objectives: Achieve a good knowledge of the main algebraic structures - groups, rings, fields - including some structure results for special classes and the relevant relations among different types of algebraic structure (like, for instance, Galois' theory for fields)

Text books:
Course notes
Schoof, van Geemen: *Algebra (notes)*
G. Campanella: *Appunti di Algebra 1 e 2 con esercizi*, Nuova Cultura, La Sapienza, 2010
G. M. Piacentini Cattaneo: *Algebra (Un approccio algoritmico)*, Zanichelli, 1996
I. N. Herstein: *Topics In Algebra*, John Wiley & Sons, 1975
M. Artin: *Algebra*, Bollati Boringhieri, 1997
R. Chirivì, I. Del Corso, R. Dvornicich: *Esercizi scelti di Algebra: Vol. 1 e 2*, Springer, 2017, 2018
S. Lang: *Algebra*, Springer, 2002
F. Stumbo: *Appunti di algebra*, Aracne, 2010

Exam mode: Written and oral exam

ALGEBRA 3

3° anno – 2° semestre

6 CFU – settore MAT/02 – 48 ore di lezione in aula

Docente: M. Lanini (codocente: N. Kowalzig)

Programma: Il corso sarà articolato in due parti: la prima parte verterà primariamente su teoria delle categorie, mentre nella seconda applicheremo il linguaggio delle categorie allo studio di moduli ed algebre su un anello commutativo unitario ed eventualmente ad un'introduzione alla teoria delle rappresentazioni

Obiettivi di apprendimento: Obiettivo primario dell'insegnamento di Algebra 3 è quello di offrire agli studenti gli strumenti necessari per uno studio più approfondito di tematiche algebriche e competenze utili per i successivi corsi di algebra e geometria. Inoltre, i testi consigliati sono in inglese, al fine di abituare gli studenti all'uso di lingue diverse dall'italiano in ambito scientifico

Testi consigliati:
M. F. Atiyah, I.G. MacDonald: *Introduction to Commutative Algebra*, Addison Wesley, 1969
E.Riehl: *Category Theory in Context*, Courier Dover Publications, 2017

Modalità di esame: Prova orale

Program: The course will consists of two parts: the first one will focus on category theory, while in the second one we will study modules and algebras (over a commutative, unital ring), as well as give an introduction to representation theory, via a categorical approach

Learning objectives: The primary objective of the Algebra 3 course is to provide the students with the right tools to approach deep algebraic topics and the necessary background for more advanced courses in Algebra and Geometry. Moreover, the suggested bibliography in English will help them to develop a good understanding of scientific literature in a foreign language

Text books:
M. F. Atiyah, I.G. MacDonald: *Introduction to Commutative Algebra*, Addison Wesley, 1969
E.Riehl: *Category Theory in Context*, Courier Dover Publications, 2017

Exam mode: Oral exam

ANALISI MATEMATICA 1

1° anno – 1° semestre

9 CFU – settore MAT/05 – 90 ore di lezione in aula – ulteriori 10 ore di tutorato

Docente: R. Peirone (codocente: E. Callegari)

Programma: Numeri reali, approccio assiomatico. Numeri naturali e principio di induzione. Numeri interi relativi e numeri razionali. Numerabilità di $\mathbb{Z}$ e $\mathbb{Q}$ e non-numerabilità di $\mathbb{R}$. Topologia della retta reale. Estremo superiore e inferiore. Teorema di Bolzano-Weierstrass. Successioni: limiti di successioni, principali teoremi sui limiti, il numero e. Funzioni reali di una variabile: funzioni elementari, limiti di funzioni e studio di alcuni limiti notevoli, limite superiore e limite inferiore. Insiemi compatti. Proprietà fondamentali delle funzioni continue. Teorema di Weierstrass e teorema dei valori intermedi. Continuità uniforme. Calcolo differenziale: definizione di derivata e prime proprietà. Teoremi di Fermat, di Rolle, di Lagrange e di Cauchy. Teorema di de l'Hopital. Funzioni convesse e loro principali proprietà. Polinomi di Taylor e le loro applicazioni. Successioni ricorsive

Obiettivi di apprendimento: Il corso si propone di illustrare alcuni concetti base del calcolo in una variabile, con l'esclusione del calcolo integrale. L'obiettivo è quello di rendere lo studente capace di elaborare tali concetti in maniera critica e di acquisire le conoscenze necessarie per risolvere con rigore i problemi proposti

Testi consigliati:
E. Giusti: *Analisi Matematica 1*, Bollati Boringhieri, 2002

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Real numbers: axiomatic approach. Natural numbers and induction. Integer, rational and real numbers. $\mathbb{Z}$ and $\mathbb{Q}$ are countable, $\mathbb{R}$ is not. Topology of the real line, supremum and infimum. Bolzano-Weierstrass Theorem. Sequences, their limits and main results, the number e. Functions of one variable: elementary functions, limits of functions, limsup and liminf. Compact sets. Main properties of continuous functions. The Weierstrass theorem and intermediate value theorem. Uniform continuity. Differential calculus: the notion of derivative and its basic properties. Theorems of Fermat, Rolle, Lagrange and Cauchy. The de l'Hopital theorem. Convex functions and their properties. Taylor polynomials and their applications. Recursive sequences

Learning objectives: The course is meant to supply the basic concepts of calculus in one variable, with the exception of integral calculus. The goal is to make the student able to elaborate such concepts critically and have the know how to solve rigorously the proposed problems

Text books:
E. Giusti: *Analisi Matematica 1*, Bollati Boringhieri, 2002

Exam mode: Written and oral exam

ANALISI MATEMATICA 2

1° anno – 2° semestre

9 CFU – settore MAT/05 – 90 ore di lezione in aula – ulteriori 10 ore di tutorato

Docente: P. Cannarsa (codocente: E. Callegari)

Programma: Marzo:
Numeri complessi. Integrazione secondo Riemann. Teorema fondamentale del calcolo integrale. Metodi di integrazione. Integrali impropri. Serie numeriche reali; criteri di convergenza. Serie a valori complessi.
Aprile:
Equazioni differenziali a variabili separabili, equazioni differenziali lineari del primo ordine, equazioni differenziali lineari a coefficienti costanti. Fine Aprile - Inizio Maggio Elementi di topologia di Rn. Spazi metrici e normati. Proprietà topologiche, completezza e compattezza. Teorema delle contrazioni.
Maggio - fine corso:
Successioni di funzioni: convergenza puntuale e uniforme; criterio di Cauchy; convergenza uniforme e continuità; teoremi di passaggio al limite sotto segno di integrale e di derivata. Teorema di Ascoli-Arzelà. Serie di funzioni: convergenza puntuale, uniforme e totale. Serie di potenze: insieme di convergenza; teorema di Abel; serie di Taylor e funzioni analitiche

Obiettivi di apprendimento: Il corso si propone di illustrare alcuni argomenti di base del calcolo differenziale e integrale in una variabile reale, alcuni concetti di topologia generale e le successioni/serie di funzioni

Testi consigliati:
E. Lanconelli: *Lezioni di Analisi Matematica 1*, Pitagora, 1994
E. Giusti: *Analisi Matematica 1*, Boringhieri, 2002
E. Giusti: *Analisi Matematica 2*, Boringhieri, 2003

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: March
Complex numbers. Riemann integral. Fundamental theorem of calculus. Integration methods. Improper integrals. Series of real numbers. Convergence criteria. Series of complex numbers.
April
Differential equations with seprable variables, linear differential equations of first order, linear differential equations with constant coefficients. End of April - Beginning of May Elements of topology in $\mathbb{R}^n$. Metric spaces, normed spaces. Topological properties, completeness, compactness. Contraction lemma.
May – till the end
Functions sequences: punctual and convergence, Cauchy's criterion, uniform convergence and continuity, theorems for passing to the limit with derivative and integral, Ascoli-Arzelà theorem. Function series: punctual, uniform and total convergence. Power series, domain of convergence, Abel's Theorem, Taylor's series, analytical functions

Learning objectives: The course aims at giving a comprehensive description of basic concepts of differential and integral calculus in one real variable, of general topology and aims at treating sequences/series of functions

Text books:
E. Lanconelli: *Lezioni di Analisi Matematica 1*, Pitagora, 1994
E. Giusti: *Analisi Matematica 1*, Boringhieri, 2002
E. Giusti: *Analisi Matematica 2*, Boringhieri, 2003

Exam mode: Written and oral exam

ANALISI MATEMATICA 3

2° anno – 1° semestre

10 CFU – settore MAT/05 – 100 ore di lezione in aula – ulteriori 10 ore di tutorato

Docente: L. Damascelli (codocente: J. E. Massetti)

Programma: Settimane 1–4
Richiami sulle nozioni topologiche in $\mathbb{R}^n$ e negli spazi metrici. Calcolo differenziale per funzioni di più variabili reali, scalari e vettoriali: derivate parziali e direzionali, differenziabilità e differenziale di una funzione, condizioni necessarie e condizioni sufficienti di differenziabilità. Gradiente e matrice jacobiana. Differenziale delle funzioni composte. Derivate successive, teorema di Schwarz. Richiami sulle forme bilineari e quadratiche in $\mathbb{R}^n$. Formula di Taylor per funzioni di più variabili con resto in forma di Peano o di Lagrange. Massimi e minimi liberi per funzioni scalari di più variabili, criteri basati sul segno della matrice Hessiana. Curve in $\mathbb{R}^n$, lunghezza di una curva, parametrizzazione naturale. Integrali curvilinei di prima specie o rispetto alla lunghezza d'arco. Cenni sulla curvatura con e senza segno di curve piane e nello spazio.

Settimane 5–8
Campi vettoriali, forme differenziali e loro integrali curvilinei di seconda specie. Forme chiuse ed esatte, domini semplicemente connessi, invarianza per omotopia degli integrali curvilinei di forme chiuse. Teorema di Dini della funzioni implicita in due dimensioni. Teorema delle funzioni implicite nel caso generale. Teorema della funzione inversa, invertibilità locale e globale. Introduzione alla nozione di sottovarietà differenziabile in $\mathbb{R}^n$, equivalenza delle diverse definizioni, spazio tangente e normale. Esempi in diverse dimensioni e codimensioni, caso delle 2-superfici in $\mathbb{R}^3$ e $\mathbb{R}^n$

Settimane 9—12
Punti di estremo vincolato di una funzione. Metodo dei moltiplicatori di Lagrange per la ricerca dei punti di estremo vincolato. Definizioni e proprietà generali di misure, funzioni misurabili e integrale rispetto a una misura. Teoremi di convergenza monotona e dominata, lemma di Fatou, integrazione per serie. Misura di Lebesgue in $\mathbb{R}^n$. Calcolo di integrali multipli: teoremi di Fubini-Tonelli, diffeomorfismi e cambio di variabili negli integrali multipli. Continuità e differenziabilità di integrali dipendenti da parametri.

Obiettivi di apprendimento: Acquisire conoscenze teoriche di base sul calcolo differenziale in più variabili, curve ed integrali curvilinei, funzioni implicite e estremi vincolati, misura e integrale di Lebesgue, metodi di calcolo di integrali multipli; rendere lo studente capace di elaborare i concetti in maniera critica; sviluppare le competenze computazionali necessarie per risolvere con rigore i problemi proposti

Testi consigliati:
Note del corso
E. Giusti: *Analisi Matematica 2*, Boringhieri, 2003
C. D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica, vol. 2*, Zanichelli, 2016
N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone: *Lezioni di Analisi Matematica Due*, Zanichelli, 2020
W. Fleming: *Functions of Several Variables*, Springer-Verlag, 1977
W. Rudin: *Principles of mathematical Analysis*, McGraw-Hill, 1976

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Bibliografia di riferimento:

Program: Weeks 1–4
Review of topological notions in $\mathbb{R}^n$ and in metric spaces. Differential calculus for scalar and vector-valued functions of several real variables: partial and directional derivatives, differentiability and differential of a function, necessary and sufficient conditions for differentiability. Gradient and Jacobian matrix of a map. Differential of a composite function, chain rule for the derivatives. Higher order derivatives, Schwarz Lemma. Review of bilinear and quadratic forms in $\mathbb{R}^n$. Taylor formula for functions of several variables, Peano's and Lagrange's remainder. Maxima and minima for functions of several variables, criteria based on the sign of the Hessian matrix. Curves in $\mathbb{R}^n$, length of a curve, natural parametrization. Curvilinear integral of the first kind for scalar functions. Some notions on curvature of planar and space curves.

Weeks 5–8
Vector fields, linear differential forms and curvilinear integrals of the second kind. Closed and exact forms, simply connected domains, homotopy invariance for integrals of closed forms. Dini's implicit function theorem for functions of two variables. General Implicit functions theorem. Inverse function theorem, local and global invertibility. Introduction to the notion of an embedded manifold in $\mathbb{R}^n$, equivalence of different definitions, tangent and normal spaces. Examples in different dimensions, in particular 2-surfaces in $\mathbb{R}^3$ and $\mathbb{R}^n$.

Weeks 9—12
Extremum points of a function under constraints and Lagrange multiplier method. Definition of general measures, measurable functions and integrals. Monotone and dominated convergence theorems, Fatou's Lemma, integration of series of functions. Lebesgue measure in $\mathbb{R}^n$. Calculation of multiple integrals: Fubini-Tonelli theorems, diffeomorphisms, change of variables in multiple integrals. Continuity and differentiability of integrals depending on parameters.

Learning objectives: Learning the basic theoretical concepts on multivariable calculus, curves and line integrals, implicit functions and constrained maxima and minima, Lebesgue measure and (multiple) integral; make the student able to elaborate critically such concepts; develop the necessary computational skills to solve rigorously the proposed problems.

Text books:
Course Notes
E. Giusti: *Analisi Matematica 2*, Boringhieri, 2003
C. D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica, vol. 2*, Zanichelli, 2016
N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone: *Lezioni di Analisi Matematica Due*, Zanichelli, 2020
W. Fleming: *Functions of Several Variables*, Springer-Verlag, 1977
W. Rudin: *Principles of mathematical Analysis*, McGraw-Hill, 1976

Exam mode: Written and oral exam

ANALISI MATEMATICA 4

2° anno – 2° semestre

8 CFU – settore MAT/05 – 80 ore di lezione in aula – ulteriori 10 ore di tutorato

Docente: C. Sinestrari (codocente: da definire)

Programma: Formule di Gauss–Green, teorema della divergenza e teorema di Stokes nel piano. Area di una porzione di superficie regolare in $\mathbb{R}^3$, integrali superficiali di funzioni e flusso di campi vettoriali. Formule di Gauss–Green e teorema della divergenza in tre variabili. Teorema di Stokes nello spazio tridimensionale. Spazi L^p di funzioni in insiemi di $\mathbb{R}^n$, definizione e proprietà di base. Il caso $p = 2$, prodotto scalare e ortogonalità, insiemi ortonormali. Sviluppi in serie di Fourier di funzioni periodiche. Migliore approssimazione quadratica nello spazio L^2, disuguaglianza di Bessel. Criteri di convergenza puntuale ed uniforme della serie di Fourier. Derivazione e serie di Fourier. Completezza del sistema trigonometrico, convergenza della serie di Fourier in L^2 e identità di Parseval. Applicazione allo studio delle equazioni alle derivate parziali. Trasformata di Fourier per funzioni di L^1. Teorema di inversione. Convoluzione di funzioni e trasformata di Fourier. Formula di Plancherel e trasformata in L^2. Applicazione allo studio delle equazioni alle derivate parziali. Sistemi di equazioni differenziali ordinarie: teorema di esistenza e unicità locale per il problema di Cauchy. Prolungamento di soluzioni, proprietà delle soluzioni massimali e criteri di esistenza globale. Lemma di Gronwall. Dipendenza continua dai dati iniziali. Sistemi differenziali lineari. Struttura affine dello spazio delle soluzioni. Matrici fondamentali e metodo delle variazioni delle costanti arbitrarie. Equazioni differenziali lineari di ordine n. Classificazione degli equilibri e stabilità. Metodo di Lyapunov per l'analisi della stabilità. Applicazione ad alcuni modelli (es. SIS, SIR, preda–predatore)

Obiettivi di apprendimento: Acquisire metodologie teoriche e competenze computazionali su integrali di superficie, serie e trasformata di Fourier, equazioni differenziali ordinarie

Testi consigliati:
C. D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica 2*, Zanichelli, 2009
E. Giusti: *Analisi matematica, vol. 2*, Boringhieri, 1983
R. Wheeden - A. Zygmund: *Measure and Integral, An introduction to real analysis*, CRC Press, 2015
P. Cannarsa - T. D'Aprile: *Introduzione alla teoria della misura e all'analisi funzionale*, Springer 2008

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Gauss–Green formulas, divergence theorem and Stokes' theorem in two variables. Area of a regular surface portion in $\mathbb{R}^3$, surface integrals of functions and flux of vector fields. Gauss–Green formulas and divergence theorem in three variables. Stokes' theorem in three variables. L^p spaces of functions in subsets of $\mathbb{R}^n$, definition and basic properties. The case $p = 2$, scalar product and orthogonality, orthonormal sets. Fourier series expansions of periodic functions. Best quadratic approximation in L^2, Bessel's inequality. Pointwise and uniform convergence criteria for Fourier series. Derivatives and Fourier series.

Gibbs' phenomenon. Hilbert spaces, orthonormal sets and best quadratic approximation. Completeness of the trigonometric system, convergence of the Fourier series in L^2, Parseval identity. Applications to partial differential equations. Fourier transform of L^1 functions. Inversion theorem. Convolution of functions and Fourier transform. Plancherel formula and Fourier transform in L^2. Applications to partial differential equations. Ordinary differential systems: local existence and uniqueness for the Cauchy problem. Continuation of solutions, properties of maximal solutions, criteria for global existence. Gronwall's lemma. Continuous dependence on initial data. Linear differential systems. Affine structure of the space of solutions. Fundamental matrices and method of variations of arbitrary constants. Linear differential equations of order n. Fourier transform and differential equations. Flow generated by a regular vector field. Classification of equilibry and stability. Lyapunov's method for stability analysis. Application to some models (e.g., SIS, SIR, Predator–Prey)

Learning objectives: To acquire theoretical methodologies and computational skills on integration of functions of multiple real variables, surface integrals, Fourier series and Fourier transform, and ordinary differential equations

Text books:
C. D. Pagani, S. Salsa: *Analisi Matematica 2*, Zanichelli, 2009
E. Giusti: *Analisi matematica, vol. 2*, Boringhieri, 1983
R. Wheeden - A. Zygmund: *Measure and Integral, An introduction to real analysis*, CRC Press, 2015
P. Cannarsa - T. D'Aprile: *Introduzione alla teoria della misura e all'analisi funzionale*, Springer 2008

Exam mode: Written and oral exam

ANALISI MATEMATICA 5

3° anno – 2° semestre

6 CFU – settore MAT/05 – 48 ore di lezione in aula

Docente: J. E. Massetti

Programma: Primo mese:
Introduzione generale ed esempi (il problema di Didone, la brachistocrona, superfici minime, geodetiche su una varietà Riemanniana). Richiami di geometria differenziale e topologia: immersioni di un aperto di $\mathbb{R}^2$ in $\mathbb{R}^3$ ed embedding, l'immersione canonica ed esempi di immersioni che non sono embedding. Definizioni di spazio tangente e cotangente a un aperto di $\mathbb{R}^n$, natura tensoriale intrinseca di vettori e forme lineari. Funzionali di lunghezza ed energia di una curva su una varietà immersa. Funzioni assolutamente continue e C^1 a tratti. La norma al quadrato dell'applicazione tangente: apparizione della metrica riemanniana. Formulazione dei funzionali di lunghezza ed energia in termini di metrica riemanniana. Isometrie e cambiamenti di parametrizzazione, ovvero il motivo per cui si preferisce minimizzare l'energia invece della lunghezza. Calcolo delle variazioni in un aperto di $\mathbb{R}^n$: lo spazio delle curve continue e C^1 a tratti. Il fibrato tangente e la lagrangiana dipendente esplicitamente dal tempo. Cammini minimali. Esempio di funzionale inferiormente limitato ma che non ammette minimo. Definizione di variazione di un cammino ed estremale. Equazioni di Eulero–Lagrange in forma integrale. Lemma di Erdmann (o primo lemma fondamentale del calcolo delle variazioni). Definizioni di differenziabilità di Fréchet e di Gateaux su spazi di Banach. Continuità e limitatezza per operatori lineari su spazi di Banach. Segmenti geodetici. Teorema di regolarità: se la metrica è di classe C^k, lo sono anche i segmenti geodetici. Definizione di lagrangiani regolari e applicazione di Legendre. Conseguenze: i lagrangiani regolari implicano la regolarità degli estremali. Equazioni di Eulero–Lagrange per lagrangiani regolari. Secondo lemma fondamentale del calcolo delle variazioni.

Secondo mese:
Variazioni interne. Prima apparizione della conservazione dell'energia. Equazione delle geodetiche e campo vettoriale associato sul tangente del fibrato tangente. Definizione di geodetiche. Le geodetiche sono percorse con velocità costante. I segmenti geodetici sono anche gli estremi dell'integrale di lunghezza. Invarianza delle equazioni di Eulero–Lagrange per diffeomorfismi, ovvero naturalità di L rispetto al pullback. Condizione necessaria per l'esistenza di minimi: la condizione di Legendre. Fenomeni legati alla non regolarità di L: non suriettività, invarianza di gauge e vincoli, lagrangiani positivamente omogenei in $\dot{q}$, non iniettività. Regolarità delle classi di cammini considerate, variazioni forti e deboli, minimi forti e deboli: esempio di funzionale con minimo debole ma non forte. Il flusso geodetico e il fibrato unitario. Il flusso geodetico sul toro piatto $\mathbb{T}^2$ e la sua geometria. Caratterizzazione dinamica e topologica delle geodetiche sul toro. Il calcolo fondamentale: variazione a estremità libere. La variazione del funzionale di azione a estremità libere e sue conseguenze. Primo teorema di Noether. Conservazione

del momento angolare nel problema newtoniano degli N corpi come conseguenza dell'invarianza dell'azione di SO(2). Seconda conservazione dell'energia. Secondo teorema di Noether per campi vettoriali dipendenti dal tempo. Parentesi: il flusso di un campo vettoriale non lineare, volumi e determinanti, variazione infinitesimale di volumi in $\mathbb{R}^n$ tramite flussi di campi. Divergenza di campi. Trasformata di Legendre intrinseca per L regolare. Trasformata di Legendre nel caso convesso. Esempi.

Terzo mese:
La stretta convessità (in senso C^2) di L implica la stretta convessità di H. Il calcolo fondamentale nel mondo cotangente: la 1-forma di Liouville tautologica e l'invariante integrale di Poincaré–Cartan. Variazione del funzionale di azione come differenza dei pullback della 1-forma di Poincaré–Cartan. Teorema dell'invariante integrale di Poincaré–Cartan: lato lagrangiano–hamiltoniano. Il tensore impulso–energia. Invarianti integrali relativi completi e loro caratterizzazione. Definizioni di derivata di Lie di una k-forma differenziale lungo un campo vettoriale, contrazione di una k-forma differenziale. Formula magica di Cartan. Definizione intrinseca dei campi vettoriali hamiltoniani ed equazioni di Hamilton, involutivi della trasformata di Legendre. 2-forma simplettica standard e gradiente simplettico. Teorema dell'invariante integrale di Poincaré–Cartan: lato hamiltoniano e invarianza della forma simplettica. Caratterizzazione variazionale degli invarianti integrali: il principio di Hamilton. Definizione e caratterizzazione delle curve caratteristiche. Principio variazionale di Hamilton. Dimostrazione della formula magica di Cartan tramite la variazione del funzionale di azione. Invariante integrale di Poincaré e principio variazionale di Maupertuis: tempo ed energia come variabili coniugate. Livelli regolari di energia, forma di Liouville indotta e caratterizzazione del nucleo del suo differenziale esterno. Teorema di Maupertuis. Teoremi degli invarianti integrali a energia fissata e a tempo fissato. Un'applicazione dei metodi variazionali: esistenza di orbite periodiche su ipersuperfici di energia. Introduzione al problema. Campi hamiltoniani sullo stesso livello di energia, campi paralleli. Dimostrazione del teorema di Rabinowitz e Weinstein: esistenza di un'orbita periodica su un livello di energia che è il bordo C^2 di una regione compatta e strettamente convessa di $\mathbb{R}^{2n}$

Obiettivi di apprendimento: Introdurre lo studente alle conoscenze di base del Calcolo delle Variazioni e far acquisire metodologie teoriche e competenze computazionali per trattare problemi di minimizzazione in alcuni problemi variazionali in $\mathbb{R}^n$

Testi consigliati:
A. Chenciner: *Géométrie et Dynamique*
H. Hofer, E. Zehnder: *Symplectic Invariants and Hamiltonian Dynamics*, Birkhäuser, 1994
Note del corso

Modalità di esame: Prova orale

Program: First Month:
Introduction, background and fundamental concepts: General introduction and examples (the problem of Dido, the brachistochrone, minimal surfaces, geodesics on a Riemannian manifold). Background in differential geometry and topology: Immersions of open subsets of $\mathbb{R}^2$ into $\mathbb{R}^3$ and embeddings, the canonical immersion, and examples of immersions that are not embeddings. Definitions of tangent and cotangent spaces of open subsets of $\mathbb{R}^n$; the intrinsic tensorial nature of vectors and linear forms. Length and energy functionals of a curve on an immersed manifold. Absolutely continuous and piecewise C^1 functions. The squared norm of the tangent map: appearance of the Riemannian metric. Formulation of length and energy functionals in terms of the Riemannian metric. Isometries and reparametrizations, or why one chooses to minimize energy instead of length. Calculus of Variations in an open subset of $\mathbb{R}^n$: The space of continuous and piecewise C^1 curves. The tangent bundle and Lagrangians that explicitly depend on time. Minimal paths. Example of a bounded-below functional that does not admit a minimum. Definition of a variation of a path and of extremals. Euler–Lagrange equations in integral form. Erdmann's lemma (or first fundamental lemma of the calculus of variations). Definitions of Fréchet and Gâteaux differentiability in Banach spaces. Continuity and boundedness of linear operators in Banach spaces. Geodesic segments. Regularity theorem (if the metric is of class C^k, so are the geodesic segments). Definition of regular Lagrangians and the Legendre transformation. Consequences. Regular Lagrangians imply regularity of extremals. Euler–Lagrange equations for regular Lagrangians. Second fundamental lemma of the calculus of variations.

Second Month
Internal variations. First appearance of energy conservation. The geodesic equation and the associated vector field on the tangent bundle. Definition of geodesics. Geodesics are traversed with constant speed. Geodesic segments are also extrema of the length integral. Invariance of the E-L equations under diffeomorphisms, i.e., naturality of L with respect to pullbacks. Necessary condition for existence of minima:

Legendre condition. Phenomena related to non-regularity of L: non-surjectivity, gauge invariance and constraints, positively homogeneous Lagrangians in $\dot{q}$, non-injectivity. Regularity of the considered classes of paths, strong vs. weak variations, strong vs. weak minima: example of a functional with a weak minimum but no strong one. The geodesic flow and the unit tangent bundle. The geodesic flow on the flat torus T^2 and its geometry. Dynamical and topological characterization of geodesics on the torus. The Fundamental Calculus: Variation with Free Endpoints The fundamental calculus: Variation of the action functional with free endpoints and its consequences. Noether's first theorem. Conservation of angular momentum in the Newtonian N-body problem as a consequence of SO(2)-invariance of the action. Second conservation of energy. Noether's second theorem for time-dependent vector fields. Interlude: flow of a nonlinear vector field, volumes and determinants, infinitesimal variation of volumes in $\mathbb{R}^n$ via flows of vector fields. Divergence of vector fields. The intrinsic Legendre transform for regular L. The Legendre transform in the convex case. Examples.

Third Month:
Strict convexity (in the C^2 sense) of L implies strict convexity of H. The fundamental calculus in the cotangent world: the tautological Liouville 1-form and the integral invariant of Poincaré–Cartan. Variation of the action functional as the difference of the pullbacks of the Poincaré–Cartan 1-form. Theorem of the integral invariant of Poincaré–Cartan: Lagrangian–Hamiltonian side. The energy–momentum tensor. Complete relative integral invariants and their characterization. Definitions of the Lie derivative of a k-differential form along a vector field, and contraction of a k-form. Cartan's magic formula. Intrinsic definition of Hamiltonian vector fields and Hamilton's equations, involutivity of the Legendre transform. Standard symplectic 2-form and symplectic gradient. The Poincaré–Cartan integral invariant theorem: Hamiltonian side and invariance of the symplectic form. Variational Characterization of Integral Invariants: Hamilton's Principle Definition and characterization of characteristic curves. Hamilton's variational principle. Proof of Cartan's magic formula via variation of the action functional. Poincaré Integral Invariant and Maupertuis' Variational Principle: Time and Energy as Conjugate Variables Regular energy levels, induced Liouville form and characterization of the kernel of its exterior derivative. Maupertuis' theorem. Theorems of integral invariants at fixed energy and fixed time. An Application of Variational Methods: Existence of Periodic Orbits on Energy Hypersurfaces Introduction to the problem. Hamiltonian vector fields on the same energy level, parallel fields. Proof of the Rabinowitz–Weinstein Theorem: existence of a periodic orbit on an energy level that is the C^2 boundary of a compact and strictly convex region in $\mathbb{R}^{2n}$

Learning objectives: Get the basics of Calculus of Variations and dynamic optimization. To acquire theoretical methodologies and computational skills to treat minimizing problems in appropriate variational problems in $\mathbb{R}^n$

Text books:
A. Chenciner: *Géométrie et Dynamique*
H. Hofer, E. Zehnder: *Symplectic Invariants and Hamiltonian Dynamics*, Birkhäuser, 1994
Course notes

Exam mode: Oral exam

ANALISI MATEMATICA 6

3° anno – 2° semestre

6 CFU – settore MAT/05 – 48 ore di lezione in aula

Docente: L. Giorgetti

Programma: Spazi topologici. Spazi vettoriali topologici e topologie deboli. Spazi Normati. Cenni di teoria dell'integrazione alla Lebesgue. Spazi di Hilbert e operatori. Teoria spettrale per operatori su spazi di Hilbert. Cenni alla teoria delle C^*-algebre e delle algebre di von Neumann. Applicazioni alla Meccanica Quantistica

Obiettivi di apprendimento: Scopo del corso è l'approfondimento delle conoscenze di analisi matematica necessarie alla formulazione concettualmente chiara delle teorie fisiche e dei problemi matematici ad esse connessi, con particolare attenzione alla formulazione dei fondamenti matematici della meccanica quantistica

Testi consigliati:
Note del corso
M. Reed, B. Simon: *Methods of Modern Mathematical Physics I-II*, Springer, 1980-1981

B. C. Hall: *Quantum Theory for Mathematicians*, Springer, 2013
G. K. Pedersen: *Analysis Now, GTM*, Springer, 2012
A. N. Kolmogorov, S. V. Fomin: *Elementi di Teoria delle Funzioni e di Analisi Funzionale*, Editori Riuniti, 2012
W. Rudin: *Principles of Mathematical Analysis*, McGraw-Hill, 2015

Modalità di esame: Prova orale

Program: Topological spaces. Topological vector spaces and weak topologies. Normed Spaces. Basics of Lebesgue integration theory. Hilbert spaces and operators. Spectral theory for operators on Hilbert spaces. Basics of C^* and von Neumann algebras. Applications to Quantum Mechanics

Learning objectives: The aim of the course is to deepen the mathematical analysis knowledege necessary for the conceptually clear formulation of physical theories and related mathematical problems, with particular attention to the formulation of the mathematical foundations of quantum mechanics

Text books:
Course notes
M. Reed, B. Simon: *Methods of Modern Mathematical Physics I-II*, Springer, 1980-1981
B. C. Hall: *Quantum Theory for Mathematicians*, Springer, 2013
G. K. Pedersen: *Analysis Now, GTM*, Springer, 2012
A. N. Kolmogorov, S. V. Fomin: *Elementi di Teoria delle Funzioni e di Analisi Funzionale*, Editori Riuniti, 2012
W. Rudin: *Principles of Mathematical Analysis*, McGraw-Hill, 2015

Exam mode: Oral exam

ANALISI NUMERICA 1

3° anno – 1° semestre

8 CFU – settore MAT/08 – 80 ore di lezione in aula – ulteriori 10 ore di tutorato

Docente: C. Manni

Programma: Il corso illustra i principi della traduzione di modelli matematici in problemi aritmetici risolubili con mezzi automatici. Aritmetica in virgola mobile e analisi dell'errore (12 ore). Algebra lineare numerica: metodi diretti e metodi iterativi per sistemi lineari (24 ore). Approssimazione di soluzioni di equazioni non lineari (12 ore). Approssimazione e interpolazione polinomiale e splines (16 ore). Integrazione numerica (8 ore). Cenni al trattamento numerico di equazioni differenziali ordinarie (8 ore). Fondamenti di programmazione in MATLAB con particolare riguardo all'uso delle strutture vettoriali (40 ore)

Obiettivi di apprendimento: L'insegnamento si propone di fornire le conoscenza di base delle problematiche numeriche legate alla risoluzione di problemi matematici tramite un eleboratore elettronico digitale e di fornire le basi per la programmazione di algoritmi matematici attraverso il linguaggio MATLAB. Al termine dell'insegnamento, lo studente conoscerà i metodi numerici più elementari per l'agebra lineare numerica e l'approssimazione di dati e funzioni, sarà in grado di individuare le possibili fonti di errore nell'utilizzo di algoritmi numerici per l'approssimazione di semplici problemi matematici e di interpretare i risultati ottenuti mediante la programmazione di algoritmi relativi tramite l'utilizzo di un eleboratore elettronico digitale

Testi consigliati:
D. Bini, M. Capovani, O. Menchi: *Metodi Numerici per l'Algebra Lineare*, Zanichelli, 1988
A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri: *Matematica Numerica*, Springer, 2008

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: The course illustrates the principles of translating mathematical models into arithmetic problems solved by automatic means. Floating point arithmetic and error analysis (12 hours). Numerical linear algebra: direct methods and iterative methods for linear systems (24 hours). Approximation of solutions of non-linear equations (12 hours). Polynomial and splines approximation and interpolation (16 hours). Numerical integration (8 hours). Outlines on the numerical treatment of ordinary differential equations (8 hours). Basics of programming in MATLAB with particular regard to the use of vectorial structures (40 hours)

Learning objectives: The course aims to provide the basic knowledge of numerical issues related to the resolution of mathematical problems through a digital computer and to provide the basis for the programming of mathematical algorithms through the MATLAB language. At the end of the course, the student will know the most basic numerical methods for the numerical linear algebra and the approximation of data and functions, he/she will be able to identify the possible sources of error in the use of numerical algorithms for the approximation of simple mathematical problems and to interpret the results obtained by programming relative algorithms using a digital computer

Text books:
D. Bini, M. Capovani, O. Menchi: *Metodi Numerici per l'Algebra Lineare*, Zanichelli, 1988
A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri: *Matematica Numerica*, Springer, 2008

Exam mode: Written and oral exam

ANALISI NUMERICA 2

3° anno – 2° semestre

6 CFU – settore MAT/08 – 48 ore di lezione in aula

Docente: D. Bertaccini

Programma: Metodi iterativi e tecniche di precondizionamento per sistemi lineari di grandi dimensioni. Funzioni di matrici. Teoria e algoritmi per il calcolo approssimato di funzioni di matrici

Obiettivi di apprendimento: Il corso si propone di sviluppare competenze e conoscenze in vari settori della Laurea in Matematica, garantendo agli iscritti alla Laurea in Matematica possibilità di approfondimento sia degli aspetti teorici di questa disciplina che delle sue applicazioni. Oltre ad avere una conoscenza sia degli aspetti disciplinari sia di quelli metodologici della matematica, gli studenti del corso devono essere in grado di esprimere le proprie conoscenze in contesti professionali sia specifici sia interdisciplinari e devono essere capaci di orientarsi nella consultazione della letteratura. Potranno, a seconda delle proprie inclinazioni e preferenze, proseguire negli studi magistrali in discipline matematiche o inserirsi nel mondo del lavoro, sia utilizzando le specifiche competenze acquisite che valorizzando le proprie capacità di flessibilità mentale e di collaborazione con altri esperti, perfettamente in linea con gli obiettivi formativi del corso di laurea in Matematica

Testi consigliati:
D. Bertaccini, C. Di Fiore, P. Zellini: *Complessità e iterazione numerica. Percorsi, matrici e algoritmi veloci nel calcolo numerico*, Bollati Boringhieri, 2013
D. Bertaccini, F. Durastante: *Iterative Methods and Preconditioning for Large and Sparse Linear Systems with Applications*, Chapman and Hall/CRC, 2018
Note del corso

Modalità di esame: Prova orale

In presenza di studenti stranieri l'insegnamento può essere erogato in lingua inglese.

Program: Iterative methods and preconditioning techniques for large linear systems. Function of matrices. Theory and algorithms for computing function of matrices

Learning objectives: The course aims to develop skills and knowledge in various fields of the Degree in Mathematics, guaranteeing students enrolled in the Laurea in Mathematics the possibility of deepening both the theoretical aspects of this discipline and its applications. In addition, they will gain a knowledge of both the disciplinary and methodological aspects of mathematics, the students of the course must be able to express their knowledge in both specific and interdisciplinary professional contexts and must be able to orient themselves in the literature consultation. Depending on their inclinations and preferences, they will be able to continue their master's studies in mathematical disciplines or begin working, using specific skills acquired and enhancing mental flexibility and collaboration skills with other experts, perfectly in line with the educational objectives of the degree course in Mathematics

Text books:
D. Bertaccini, C. Di Fiore, P. Zellini: *Complessità e iterazione numerica. Percorsi, matrici e algoritmi veloci nel calcolo numerico*, Bollati Boringhieri, 2013
D. Bertaccini, F. Durastante: *Iterative Methods and Preconditioning for Large and Sparse Linear Systems with Applications*, Chapman and Hall/CRC, 2018
Note del corso

Exam mode: Oral exam

In case the course is attended by foreign students, lectures can be given in English.

CRITTOGRAFIA

3° anno – 1° semestre

6 CFU – settore MAT/03 – 48 ore di lezione in aula

Docente: G. Lido

Programma: Studieremo gli algoritmi più utilizzati in crittografia, in particolare: algoritmi simmetrici, in particolare Advanced Encryption Standard (AES); funzioni di hash; algoritmi asimmetrici basati su RSA, logaritmo discreto su campi finiti e su curve ellittiche. Seguiremo principalmente il testo di Stinson e Paterson citato nella bibliografia.

Se il tempo lo permette, approfondiremo alcuni dei segunti argomenti: test di primalità e fattorizzazione di numeri interi, curve ellittiche, crittografia omomorfa, crittografia post-quantistica basata su codici, reticoli e isogenie

Obiettivi di apprendimento: Capire come problemi matematici computazionalmente difficili possono garantire la sicurezza dei protocolli crittografici. Approfondire lo studio dell'Algebra

Testi consigliati:
D. R. Stinson, M. Paterson: *Cryptography, Theory and Practice*, Chapman and Hall/CRC, 2018

Modalità di esame: Prova orale e valutazione in itinere

Program: We will study the most common cryptographic algorithms, such as: - symmetric cryptography algorithms, such as Advanced Encryption Standard (AES) - hash functions - asymmetric algorithms, such as the ones based on RSA, discrete logarithms on finite fields and elliptic curves.

We will mainly follow the textbook by Stinson and Paterson quoted in the bibliography.

If we will have time, we can cover in details some of the following topics: primality tests and integers factorization, elliptic curves, omorphic encryption, post-quantum cryptography: codes based, lattice based and isogeny based cryptography

Learning objectives: Understand how computationally-hard mathematical problems can gurantees the security of cryptographic protocols. Study some advanced algebra

Text books:
D. R. Stinson, M. Paterson: *Cryptography, Theory and Practice*, Chapman and Hall/CRC, 2018

Exam mode: Oral exam and "in itinere" evaluation

FISICA 1

2° anno – 1° semestre

9 CFU – settore FIS/01 – 90 ore di lezione in aula

Docente: A. Moleti

Programma: campi scalari e vettoriali (4 ore) cinematica (4) principi della dinamica (4) forze costanti, elastiche, attrito, viscosita' (4) moti relativi, forze fittizie (4) relativita' ristretta (8) teorema delle forze vive (2) forze conservative, conservazione dell'energia (2) dinamica dei sistemi di punti materiali (2) conservazione della quantita' di moto e del momento angolare (4) teoremi di koenig (2) gravitazione, leggi di keplero (8) statica dei fluidi (2) dinamica dei fluidi, teorema di bernoulli (4) calore e temperatura (2) termodinamica (2) trasformazioni reversibili e irreversibili (2) primo principio della termodinamica, energia interna (2) gas ideali (2) secondo principio della termodinamica (4) entropia (4)

Obiettivi di apprendimento: Sviluppare conoscenze di meccanica e termodinamica e la capacità di applicarle all'analisi di semplici problemi

Testi consigliati:
P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci: *Fisica, vol. 1*, Edises, 2000
Note del corso

Modalità di esame: Prova scritta e orale e valutazione in itinere

Program: scalar and vector fields (4 hours) kinematics (4) principles of dynamics (4) constant forces, elastic forces, friction, viscosity (4) relative motion, fictitious forces (4) special relativity (8) theorem of work and kinetic energy (2) conservative forces, conservation of energy (2) dynamics of the systems of point-like masses (2) conservation of momentum and of the angular momentum (4) koenig's theorems (2) gravitation, kepler's laws (8) fluid statics (2) fluid dynamics, bernoulli's theorem (4) heat and temperature (2) thermodynamics (2) reversible and irreversible transformations (2) first principle of thermodynamics, internal energy (2) ideal gases (2) second principle of thermodynamics (4) entropy (4)

Learning objectives: Developing knowledge about mechanics and thermodynamics and applicative skills to the analysis of simple problems.

Text books:
P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci: *Fisica, vol. 1*, Edises, 2000
Course notes

Exam mode: Written, oral exam and "in itinere" evaluation

FISICA 2

3° anno – 1° semestre

7 CFU – settore FIS/01 – 70 ore di lezione in aula

Docente: F. Archilli

Programma: Forza di Coulomb - campo elettrico e potenziale elettrostatico - teorema di Gauss - conduttori in equilibrio elettrostatico - condensatori e dielettrici - corrente elettrica e resistenza - legge di Ohm - resistori in serie e parallelo - leggi di Kirchoff per i circuiti elettrici - carica e scarica di un condensatore - campo magnetico - forza magnetica su una carica in movimento - moto di una particella carica in campo magnetico - seconda legge elementare di Laplace - principio di equivalenza di Ampère - campi magnetico prodotto da una corrente e prima formula elementare di Laplace - teorema della circuitazione di Ampère e sue applicazioni - solenoide ideale - equazioni per B nel vuoto e nel caso stazionario - potenziale vettore A - legge di Faraday dell'induzione elettromagnetica - autoinduzione - il circuito RL - mutua induzione - circuito oscillante LC e RLC serie - corrente di spostamento e legge di Ampère-Maxwell - equazione delle onde e.m. - la doppia natura della luce: onda e corpuscolo - esperimento di Young e effetto fotoelettrico - Il principio di Huygens - riflessione e rifrazione della luce - la legge di Snell - interferenza di onde e.m. - interferenza da due fenditure e da N fenditure - diffrazione da una fenditura, reticolo di diffrazione

Obiettivi di apprendimento: Il corso si prefigge di fornire i concetti base dell'elettromagnetismo classico e dell'ottica fisica e la capacità di risolvere semplici problemi sull'argomento

Testi consigliati:
P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci: *Fisica II*, Edises, 2008

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Coulomb interaction - electric field and electrostatic potential - Gauss theorem - conductors in electrostatic equilibrium - capacitors and dielectrics - electric current and resistance - Ohm's law - series and parallel resistors - Kirchoff's laws for electric circuits - charge and discharge of a capacitor - magnetic field - magnetic force on a moving charge - motion of a charged particle in a magnetic field - second elementary law of Laplace - Ampère equivalence theorem - magnetic fields generated by a current and first elementary Laplace formula - Ampère's circuital law and its applications - ideal solenoid - equations for B in vacuum and in the stationary case - vector potential A - Faraday's law of induction - self inductance - RL circuit - mutual inductance - oscillating circuit LC and RLC series - displacement current and Ampère-Maxwell's shift law - e.m. wave equation - the double nature of light: wave and particle - Young's experiment and photoelectric effect - Huygens' principle - light reflection and refraction - Snell's law - wave interference - interference from two slits and from N slits - diffraction from a finite slit - diffraction grating

Learning objectives: The course aims to provide the basic concepts of classical electromagnetism and physical optics and the ability to solve simple problems on the subject

Text books:
P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci: *Fisica II*, Edises, 2008

Exam mode: Written and oral exam

FISICA MATEMATICA 1

2° anno – 2° semestre

8 CFU – settore MAT/07 – 80 ore di lezione in aula – Ulteriori 10 ore di tutorato

Docente: U. Locatelli (codocente: da definire)

Programma: Settimane 1-2.
Studio qualitativo delle equazioni differenziali ordinarie. Moti unidimensionali: trattazione del caso conservativo e di quello dissipativo. Punti di equilibrio e stabilità.
Settimane 3-4.
La meccanica celeste come ulteriore esempio di introduzione di modelli matematici di fenomeni naturali. Moti centrali. Legge di gravitazione universale.
Settimane 5-6.
Moti relativi. Forze apparenti in sistemi non inerziali. Generalità sui sistemi meccanici. Equazioni cardinali. Corpo rigido: cinematica e dinamica.
Settimane 7-10.
Sistemi vincolati. Vincoli ideali, principio di D'Alembert. Equazioni di Lagrange. Costanti del moto per sistemi Lagrangiani. Formulazione variazionale della meccanica Lagrangiana.
Settimane 11-12.
Introduzione alla meccanica Hamiltoniana. Parentesi di Poisson. Teoremi di Liouville per il flusso Hamiltoniano e (in cenni) a proposito dei sistemi integrabili

Obiettivi di apprendimento: Acquisizione della capacità di modellizzare e analizzare rigorosamente i fenomeni, con particolare attenzione ai fenomeni descrivibili attraverso la meccanica classica

Testi consigliati:
Note del corso

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Week 1-2.
Qualitative analysis of the ordinary differential equations. One degree of freedom dynamics: study of both systems with conservative forces and those including frictions. Equilibrium points and stability in their neighborhoods.
Week 3-4.
Celestial Mechanics as a further example of introduction of mathematical models to describe natural phenomena. Motion of a point-mass subject to a central field. Gravitation law.
Week 5-6.
Motion in a moving coordinate system. Inertial forces and Coriolis force. Newtonian mechanics for systems with n particles. Rigid body: kinematics and dynamics.
Week 7-10.
Holonomic and ideal constraints. D'Alembert's principle. Lagrange's equations. Constants of motion for Lagrangian systems. Variational formulation of Lagrangian mechanics.
Week 11-12.
Introduction to Hamiltonian mechanics. Poisson brackets. Liouville's theorems: invariance of the phase space volume under the Hamiltonian flow and characterization of the integrable systems

Learning objectives: The ability to model and study rigorously natural phenomena. With a special emphasis on phenomena relating to classical mechanics

Text books:
Course notes

Exam mode: Written and oral exam

FISICA MATEMATICA 2

3° anno – 2° semestre

8 CFU – settore MAT/07 – 80 ore di lezione in aula

Docente: A. Pizzo (codocente: R. L. Greenblatt)

Programma: L'equazione di diffusione: generalità. Questioni di unicità. Il principio di massimo. La soluzione fondamentale. Passeggiata aleatoria simmetrica e moto Browniano. Diffusione con trasporto e reazione. Il problema di Cauchy globale. Equazione di Laplace: Generalità. Funzioni armoniche nel discreto e nel continuo, proprietà di media e principio di massimo. Formula di Poisson. Diseguaglianza di Harnack e Teorema di Liouville. Soluzione fondamentale e funzione di Green. Formule di rappresentazione di Green. Cenni al problema esterno. Equazioni del primo ordine: Equazione lineare del trasporto. Modelli non lineari e metodo delle caratteristiche. Onde di shock e condizione di Rankine-Hugoniot. Problema dell'unicità e cenni alla condizione di entropia. Trasformata di Fourier. Formula di inversione. Teorema di Plancherel. Applicazioni alla soluzione di equazioni alle derivate parziali. Equazione delle onde: Corda vibrante. Formula di D'Alembert. Effetti di dissipazione e dispersione. Pacchetti d'onda e velocità di gruppo. Equazione delle onde in più di una dimensione. Soluzione fondamentale in 3 dimensioni. Formula di Kirchoff

Obiettivi di apprendimento: Conoscenza delle equazioni classiche della fisica matematica

Testi consigliati:
S. Salsa: *Equazioni a derivate parziali*, Springer-Verlag, 2016

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Diffusion equation: main features. Uniqueness of the solution. Maximum principle. Fundamental solution. Symmetric random walk and Brownian motion. Reaction diffusion equation, drift-diffusion equation. Cauchy problem and global existence of the solution. Laplace equation: main features. Harmonic functions on a lattice and on the continuum, the mean value property and the maximum principle. Poisson formula. Harnack inequality and Liouville theorem. Fundamental solution and Green function. Green's representation theorem. Introduction to the external problem. First order differential equation: Linear transport equation. Nonlinear models and method of characteristics. Shock waves and Rankine-Hugoniot condition. Uniqueness problems and introduction to entropy conditions. Fourier transform. Inverse formula. Plancherel theorem. Application to solving partial differential equations. Wave equations: Vibrating string. D'Alembert formula. Dissipation and dispersion. Wave packets and group velocity. Wave equations in more than one dimension. Fundamental solution in 3 dimensions. Kirchoff formula

Learning objectives: The course provides basic knowledge of the classical equations of mathematical physics

Text books:
S. Salsa: *Equazioni a derivate parziali*, Springer-Verlag, 2016

Exam mode: Written and oral exam

FONDAMENTI DI PROGRAMMAZIONE: METODI EVOLUTI

3° anno – 2° semestre

6 CFU – settore INF/01 – 48 ore di lezione in aula

Docente: E. Nardelli

Programma: Oggetti e loro caratteristiche. L'interfaccia di una classe. Invarianti e altri elementi di logica. Creazione di oggetti. Assegnazione, riferimento e struttura degli oggetti. Strutture di controllo. Astrazione. Modello dinamico. Ereditarietà e genericità. Ricorsione. Ereditarietà multipla. Programmazione guidata dagli eventi ed agenti

Obiettivi di apprendimento: L'insegnamento si propone di fornire agli studenti gli elementi fondamentali per padroneggiare la programmazione informatica in modo professionale

Testi consigliati:
B. Meyer: *Touch of Class: Learning to Program Well with Objects and Contracts*, Springer, 2009

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Objects and their properties. Classes and interfaces. Invariants and element of logics. Creation, assignment, reference. Control structures. Abstraction. Dynamic model. Inheritance and genericity. Recursion. Multiple inheritance. Event-drive programming and agents

Learning objectives: This module aims at providing to students the fundamental concepts needed to program computers in a professional way

Text books:
B. Meyer: *Touch of Class: Learning to Program Well with Objects and Contracts*, Springer, 2009

Exam mode: Written and oral exam

GEOMETRIA 1

1° anno – 1° semestre

10 CFU – settore MAT/03 – 100 ore di lezione in aula

Docente: L. Arosio (codocente: G. Pareschi)

Programma: Elementi di teoria degli insiemi e di algebra. Insiemistica di base, prodotto cartesiano di insiemi. Applicazioni iniettive, suriettive, biiettive. Relazione di equivalenza su un insieme, classi di equivalenza, insieme quoziente. Nozione di gruppo e di sottogruppo. Nozione di campo. Il campo complesso. Piano di Argand-Gauss. Potenze di un numero complesso: formule di De Moivre. Enunciato del teorema fondamentale dell'Algebra (senza dimostrazione). Introduzione all'Algebra Lineare Spazi vettoriali e sottospazi. Spazio vettoriale prodotto. Indipendenza lineare di vettori e sistemi di generatori. Teorema di Steinitz. Basi. Dimensione di uno spazio vettoriale. Formula di Grassmann per sottospazi vettoriali. Coordinate di un vettore rispetto ad una base. Equazioni parametriche e cartesiane di sottospazi vettoriali di $\mathbb{K}^n$. Sistemi lineari. Algoritmo di Gauss-Jordan di eliminazione. Teorema di Rouché-Capelli. Matrici, determinanti e rango. Applicazioni lineari tra spazi vettoriali, nucleo ed immagine. Matrici rappresentative di applicazioni lineari in basi fissate di dominio e codominio. Cambiamento di base. Teorema del rango di una applicazione lineare. Endomorfismi e matrici coniugate o simili. Polinomio caratteristico di un endomorfismo, autovalori ed autovettori, diagonalizzazione di un endomorfismo. Introduzione agli Spazi Affini Spazi affini, sottospazi affini e riferimenti affini. $\mathbb{K}^n$ come spazio affine: traslati di sottospazi vettoriali. Equazioni cartesiane e parametriche di sottospazi affini. Parallelismo. Formule di geometria affine in $\mathbb{R}^2$ ed $\mathbb{R}^3$. Sottospazi sghembi. Affinità. Figure geometriche affinemente equivalenti

Obiettivi di apprendimento: Il corso fornisce un'introduzione a concetti di algebra lineare e di geometria affine ed euclidea. Esso si propone di rendere lo studente capace di elaborazione critica su tali concetti. Il corso fornisce inoltre brevi nozioni di elementi storici

Testi consigliati:
M. Abate: *Geometria*, McGraw Hill, 1996

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Elements of set theory and algebra. Basic set theory, Cartesian product of sets. Injective, surjective, bijective applications. Equivalence relation on a set, equivalence classes, quotient set. Groups and subgroups. Fields. The complex field. The Argand–Gauss plane. Powers of a complex number: De Moivre's formulas. Statement of the Fundamental Theorem of Algebra (without proof). Introduction to Linear Algebra Vector spaces and subspaces. Product vector space. Linear independence of vectors and generator systems. Steinitz theorem. Bases. Dimension of a vector space. Grassmann formula for vector subspaces. Coordinates of a vector with respect to a basis. Parametric and Cartesian equations of vector subspaces of $\mathbb{K}^n$. Linear systems. Gauss–Jordan elimination algorithm. Rouché–Capelli theorem. Matrices, determinants and rank. Linear maps between vector spaces, kernel and image. Representative matrices of linear maps in fixed bases of domain and codomain. Change of basis. Rank theorem. Endomorphisms and conjugate or similar matrices. Characteristic polynomial of an endomorphism, eigenvalues and eigenvectors, diagonalization of an endomorphism. Introduction to Affine Spaces Affine spaces, affine subspaces and affine references. $\mathbb{K}^n$ as an affine space: translations of vector subspaces. Cartesian and parametric equations of affine subspaces. Parallelism. Affine geometry formulas in $\mathbb{R}^2$ and $\mathbb{R}^3$. Skew subspaces. Affine morphisms. Affine equivalence of geometric figures

Learning objectives: The course provides an introduction to topics in linear algebra and affine and Euclidean geometry. It aims to make the student capable of critical elaboration on these concepts. The course also provides notions of historical elements

Text books:
M. Abate: *Geometria*, McGraw Hill, 1996

Exam mode: Written and oral exam

GEOMETRIA 2

1° anno – 2° semestre

9 CFU – settore MAT/03 – 90 ore di lezione in aula

Docente: S. Trapani (codocente: da definire)

Programma: Algebra lineare
Spazi vettoriali quoziente. Spazio vettoriale duale. Forma canonica di Jordan. Forme bilineari su uno spazio vettoriale su un campo $\mathbb{K}$. Forme bilineari simmetriche e forme quadratiche. Radicale. Esistenza di una base ortogonale e criteri/metodi di ortogonalizzazione. Forme canoniche sui complessi. Forme canoniche su $\mathbb{R}$ e indici di inerzia (Teorema di Sylvester). Spazi vettoriali euclidei: norma, lunghezza, angoli, procedimento di Gram–Schmidt. Operatori unitari. Matrici ortogonali. Teorema spettrale sui reali e sui complessi.

Spazi euclidei. Perpendicolarità, distanze, proiezioni ortogonali. Prodotto vettoriale in $\mathbb{R}^3$. Isometrie. Figure congruenti o isometriche.

Spazi proiettivi, coordinate omogenee e sottospazi proiettivi. Riferimenti proiettivi. Completamenti di spazi affini con elementi impropri. Spazio proiettivo duale e principio di dualità per spazi vettoriali e per spazi proiettivi. Proiettività, teorema fondamentale delle proiettività.

Coniche e quadriche
Quadriche proiettive e loro classificazione in uno spazio proiettivo complesso/reale. Quadriche affini e punti impropri. Coniche proiettive, affini ed euclidee. Quadriche affini ed euclidee in dimensione 3

Obiettivi di apprendimento: il corso fornisce un' introduzione a concetti di algebra lineare (più avanzata rispetto al corso precedente "Geometria 1"), alla geometria affine ed euclidea complessa, alla geometria proiettiva reale e complessa, alla teoria delle coniche e quadriche reali e complesse. I risultati aspettati dell'apprendimento sono quelli di rendere lo studente capace di elaborazione critica su tali concetti, con un'acquisizione di un solido metodo di studio, supportato dalla risoluzione di esercizi e quesiti connessi ai contenuti del corso

Testi consigliati:
C. Ciliberto: *Algebra Lineare*, Bollati Boringhieri, 1984
C. Ciliberto, C. Galati, F. Tovena: *Dispense di Geometria*, dispense disponibili online
F. Flamini: *Dispense on-line scaricabili gratuitamente*
E. Sernesi: *Geometria I*, Bollati Boringhieri, 1989

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Linear Algebra
Quotient vector spaces. Dual vector space. Duality principle. Jordan canonical form. Bilinear forms on a vector space over a field $\mathbb{K}$. Symmetric bilinear forms and quadratic forms. Radical. Existence of an orthogonal basis and criteria/methods of orthogonalization. Complex canonical forms. Real canonical forms (Theorem of Sylvester). Euclidean vector spaces: norm, length, angles, Gram–Schmidt algorithm. Unitary operators. Orthogonal matrices. Spectral theorem.

Euclidean spaces. Perpendicularity, distances, orthogonal projections. Vector product in $\mathbb{R}^3$. Isometries.

Projective spaces, homogeneous coordinates and projective subspaces. Projective frames. Dual projective space and the duality principle for vector and for projective spaces. Projectivities, fundamental theorem of projectivity. Conics and Quadrics Projective quadrics and their classification in a complex/real projective space. Affine quadrics and improper points. Projective, affine and Euclidean conics. Affine and Euclidean quadrics in dimension 3

Text books:
C. Ciliberto: *Algebra Lineare*, Bollati Boringhieri, 1984
C. Ciliberto, C. Galati, F. Tovena: *Dispense di Geometria*, pdf notes free downloadable from the web
F. Flamini: *notes available online*
E. Sernesi: *Geometria I*, Bollati Boringhieri, 1989

Exam mode: Written and oral exam

GEOMETRIA 3

2° anno – 1° semestre

9 CFU – settore MAT/03 – 90 ore di lezione in aula

Docente: G. Marini (codocente: P. Salvatore)

Programma: I parte. Topologia Generale (50 ore in totale)

Spazi topologici, aperti, chiusi, intorni. Applicazioni continue, aperte, chiuse, omeomorfismi (10 h). Basi e sottobasi di una topologia. Chiusura, frontiera, parte interna. Topologia di sottospazio. Topologia prodotto. Topologia quoziente (10 h). Spazi metrici. Primo e secondo assioma di numerabilità. Spazi T_0, T_1, T_2. Definizione di spazi T_3 e T_4 (10 h). Compattezza. Criterio compatto-T_2. Prodotto di compatti. Teorema di Heine–Borel in $\mathbb{R}^n$. Equivalenza di compattezza sequenziale e compattezza in spazi metrici. Teorema dell'intersezione di Cantor. Compattificazione di Alexandroff (10 h). Connessione. Componenti connesse. Connessione per archi. Insieme di Cantor (10 h).

II parte. Curve e superfici differenziabili in $\mathbb{R}^3$ (40 ore in totale)

Curve differenziabili in $\mathbb{R}^3$. Parametrizzazioni. Lunghezza di un arco di curva ed ascissa curvilinea. Curvatura e torsione. Versori tangente, normale e binormale. Formule di Frenet (20 h). Superfici regolari in $\mathbb{R}^3$. Superfici rigate e superfici di rotazione. Forme differenziali su una porzione di superficie regolare in $\mathbb{R}^3$. Proprietà locali: piano tangente in un punto ad una porzione di superficie regolare in $\mathbb{R}^3$. Prima forma quadratica fondamentale. Area di una porzione di superficie regolare. Mappa di Gauss. Seconda forma quadratica fondamentale. Curvature. Punti ellittici, iperbolici e parabolici. Theorema Egregium di Gauss (20 h).

Il programma è il medesimo per gli studenti frequentanti e non frequentanti

Obiettivi di apprendimento: L'insegnamento si propone di presentare i concetti più importanti della topologia e delle curve e superfici differenziabili in $\mathbb{R}^3$

Testi consigliati:
C. Kosniowski: *Introduzione alla topologia algebrica*, Zanichelli, 1988
M. P. Do Carmo: *Differential geometry of curves and surfaces*, Prentice-Hall, 2017

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Part I. General Topology (total: 50 h)

Topological spaces, open, closed, neighborhoods. Continuous maps, open maps, closed maps, homeomorphisms (10 h). Bases and subbases of a topology. Closure, border, internal part. Subspace topology. Product topology. Quotient topology (10 h). Metric spaces. First and second axioms of countability. Spaces T_0, T_1, T_2. Definition of T_3 and T_4 spaces (10 h). Compactness. Criterion compact-T_2. Product of compact spaces. Heine–Borel theorem in $\mathbb{R}^n$. Equivalence of sequential compactness and compactness in metric spaces. Cantor's intersection theorem. Alexandroff compactification (10 h). Connection. Connected components. Path connection. Cantor set (10 h).

Part II. Differentiable curves and surfaces in $\mathbb{R}^3$ (total: 40 h)

Differentiable curves in $\mathbb{R}^3$. Parameterizations. Length of a curve arc and curvilinear abscissa. Curvature and torsion. Tangent, normal and binormal vectors. Frenet's formulas (20 h). Regular surfaces in $\mathbb{R}^3$. Ruled surfaces and rotation surfaces. Differential forms on a portion of a regular surface in $\mathbb{R}^3$. Local properties: tangent plane at a point to a portion of a regular surface in $\mathbb{R}^3$. First fundamental quadratic form. Area of a portion of a regular surface. Gaussian map. Second fundamental quadratic form. Curvatures. Elliptical, hyperbolic and parabolic points. Gauss Egregium theorem (20 h).

The program is the same for attending and non-attending students

Learning objectives: The course aims to present the most important concepts of topology and curves and surfaces in $\mathbb{R}^3$

Text books:
C. Kosniowski: *A First Course in Algebraic Topology*, Cambridge University Press, 1980
M. P. Do Carmo: *Differential geometry of curves and surfaces*, Prentice-Hall, 2017

Exam mode: Written and oral exam

GEOMETRIA 4

3° anno – 1° semestre

8 CFU – settore MAT/03 – 80

Docente: A. Iannuzzi (codocente: P. Salvatore)

Programma: Introduzione alla Topologia Algebrica (4 CFU) Omotopia, equivalenze omotopiche, retratti, omotopia relativa ad un sottoinsieme. Gruppo fondamentale, omomorfismo indotto da una mappa. Invarianza per equivalenza omotopica. Rivestimenti, sollevamento dei cammini e delle omotopie, teorema di monodromia. Calcolo del gruppo fondamentale di S^1. Applicazioni: teorema del punto fisso di Brouwer, teorema fondamentale dell'algebra. Teorema di Van Kampen con due aperti (dimostrazione solo generatori). Teorema di sollevamento e classificazione dei rivestimenti. Azioni di gruppi e G-spazi. Trasformazioni di rivestimento e rivestimenti normali, azione di monodromia. Cenni sul rivestimento universale (senza dimostrazione di esistenza). Varietà topologiche, cenni sulla classificazione delle superfici compatte. Analisi Complessa (4 CFU) Funzioni olomorfe e loro principali proprietà. In particolare, equazioni di Cauchy-Riemann, teorema di Cauchy, formula integrale di Cauchy e sue conseguenze. Teoria locale delle funzioni olomorfe, punti singolari delle funzioni olomorfe. Teorema dei residui e applicazioni al calcolo degli integrali

Obiettivi di apprendimento: Acquisire dimestichezza con argomenti di base di topologia algebrica e di analisi complessa

Testi consigliati:
C. Kosniowski: *Introduzione alla topologia algebrica*, Zanichelli, 1988
L. Arosio: *Geometria 3*, note in PDF

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Introduction to algebraic topology (4 CFU)
Homotopy, homotopy equivalence, homotopic retraction, relative homotopy. Fundamental group, induced homomorphism, invariance properties.
Covering spaces, liftings of paths and of homotopies, monodromy theorem.
The fundamental group of S^1. Brouwer's fixed point theorem, the fundamental theorem of algebra. Van Kampen's theorem. Classification of covering spaces. Group actions. Deck transformations, normal and universal coverings. Topological manifolds, hints on the classification of compact surfaces.

Complex Analysis (4 CFU)
Holomorphic functions and their main properties. In particular, Cauchy-Riemann equations, Cauchy theorem, Cauchy integral formula and its consequences.
The local theory of holomorphic functions, singular points, the residue theorem and its application to integrals computations

Learning objectives: An introduction to Algebraic Topology and Complex Geometry

Text books:
C. Kosniowski: *Introduzione alla topologia algebrica*, Zanichelli, 1988
L. Arosio: *Geometria 3*, PDF notes

Exam mode: Written and a oral exam

GEOMETRIA 5

3° anno – 2° semestre

6 CFU – settore MAT/03 – 48 ore di lezione in aula

Docente: G. Pareschi

Programma: Gli argomenti del corso sono una naturale prosecuzione dei corsi di Analisi Matematica e Geometria del primo e secondo anno. Si tratta di un'introduzione alla topologia differenziale per mezzo della coomologia delle forme differenziali (coomologia di De Rham).

Argomenti del corso: Algebra esterna su uno spazio vettoriale (4 ore). Rudimenti di categorie e funtori. L'algebra esterna come funtore (3 ore). Algebra delle forme differenziali su un aperto di $\mathbb{R}^n$, proprietà funtoriali, coomologia di De Rham (4 ore). Rudimenti di algebra omologica: mappe di complessi, coomologia, successione esatta lunga, omotopia di complessi (3 ore). Lemma di Poincaré, successione esatta di Mayer–Vietoris, omotopia, esempi di calcolo di coomologia (4 ore). Partizione differenziabile dell'unità (2 ore). Teoremi fondamentali sulla topologia euclidea in $\mathbb{R}^n$ e applicazioni: teorema del punto fisso di Brouwer, campi vettoriali su sfere, teorema di separazione di Jordan–Brouwer, teoremi di invarianza della dimensione e del dominio (4 ore). Varietà differenziabili, definizione ed esempi. Funzioni differenziabili tra varietà (3 ore). Spazio tangente e base standard indotta da una carta, differenziale di una funzione (2 ore). Forme differenziali e coomologia di De Rham su varietà differenziabili (2 ore).

Orientazione, orientabilità, strutture riemanniane e forma di volume, esempi (2 ore). Sottovarietà differenziabili, embedding di una varietà differenziabile in $\mathbb{R}^{m+k}$, intorno tubolare e applicazioni all'omotopia di funzioni continue tra varietà e all'invarianza omotopica della coomologia di De Rham (5 ore). Integrazione di forme differenziali, teorema di Stokes, applicazioni alla coomologia di varietà compatte (4 ore). Teoria del grado, indice di un campo vettoriale (2 ore), teorema di Poincaré–Hopf (4 ore). Tempo permettendo: Dualità di Poincaré

Obiettivi di apprendimento: Lo studente acquisirà conoscenze di base e intermedie che permetteranno di comprendere alcuni aspetti geometrici delle forme differenziali e della topologia e geometria di varietà differenziabili

Testi consigliati:
Note del corso
I. H. Madsen, J. Tornehave: *From Calculus to Cohomology*, Cambridge University Press, 1997

Modalità di esame: Prova orale

Program: The course is a natural continuation of the Mathematical Analysis and Geometry courses of the first and second year. It is an introduction to differential topology by means of the cohomology of differential forms (De Rham cohomology).

Topics: Alternating algebra over a linear space (4 hours). Introduction to categories and functors. Alternating algebra as a functor (3 hours). Algebra of differential forms on an open subset of $\mathbb{R}^n$, functorial properties, De Rham cohomology (4 hours). Introduction to homological algebra: chain maps, cohomology, long exact sequence, chain homotopy (3 hours). Poincaré lemma, Mayer–Vietoris sequence, homotopy, examples of applications (4 hours). Smooth partition of unity (2 hours). Main theorems on Euclidean topology in $\mathbb{R}^n$, and applications: fixed point theorem of Brouwer, vector fields on spheres, Jordan–Brouwer separation theorem, invariance of dimension and of domain (4 hours). Smooth manifolds, definition and examples. Smooth maps (3 hours). Tangent space and canonical basis of the tangent space induced by a smooth chart, differential of a smooth map (2 hours). Differential forms and De Rham cohomology on smooth manifolds (2 hours). Orientation, orientability, Riemannian structures and volume form, examples (2 hours). Smooth submanifolds, embedding smooth manifolds into $\mathbb{R}^{m+k}$, tubular neighborhood and applications to the homotopy of continuous maps between smooth manifolds and homotopy invariance of De Rham cohomology (5 hours). Integration of forms, Stokes' theorem, applications to the cohomology of compact manifolds (4 hours). Degree theory, index of a vector field (2 hours). Poincaré–Hopf theorem (4 hours). Time permitting: Poincaré duality

Learning objectives: Students will learn basic and intermediate knowledge allowing to understand geometric aspects of differential forms and of the toplogy and geometry of smooth manifolds

Text books:
Course notes
I. H. Madsen, J. Tornehave: *From Calculus to Cohomology*, Cambridge University Press, 1997

Exam mode: Oral exam

LABORATORIO COMPUTAZIONALE

3° anno – 2° semestre

3 CFU – settore INF/01 – 24 ore di lezione in aula

Docente: C. Lhotka

Programma: Settimana 1. Discretizzazione dei flussi di equazioni differenziali: iterazioni di mappe e processi di feedback, algoritmi per la ricerca delle radici, rappresentazione dei numeri nel computer, regolarità e caos. Settimane 2-4. Implementazione di metodi numerici per risolvere equazioni differenziali ordinarie (metodo di Eulero, metodo di Runge-Kutta, metodo di Taylor, metodi impliciti vs. espliciti, metodi simplettici). Settimana 5. Gestione dei big data. Gestione e archiviazione efficiente dei big data, analisi di base, rappresentazione statistica. Settimane 6-8. Studi di simulazione di sistemi meccanici generici presenti nella meccanica celeste, fisica del plasma e fisica quantistica. Settimane 9-10. Analisi di Fourier in 1 e 2 dimensioni. Filtri digitali e algoritmi Fast Fourier. Settimane 11-12. Calcoli simbolici e computer algebra, rappresentazioni grafiche, linguaggi funzionali e di riscrittura di termini

Obiettivi di apprendimento: L'acquisizione di competenze pratiche nelle tecniche computazionali, con particolare attenzione alla programmazione, ai metodi numerici e all'analisi dei dati

Testi consigliati:
Note del corso

Modalità di esame: Prova orale e di laboratorio

Program: Week 1. Mapping iterations and feedback processes, root finding algorithms, representation of numbers on the computer, regularity and chaos. Week 2-4. Implementation of numerical methods to solve ordinary differential equations (Euler's method, Runge-Kutta method, Taylor method, implicit vs. explicit methods, symplectic methods) Week 5. Big data management. Efficient handling and storage of big data, basic analysis, statistical representation. Week 6-8. Simulation studies of generic mechanical systems found in celestial mechanics, plasma physics, and quantum physics. Week 9-10. Fourier analysis in 1 and 2 dimensions. Digital filters and Fast Fourier algorithms. Week 11-12. Symbolic computations and computer algebra, graph representations, functional and term rewriting languages

Learning objectives: The acquisition of practical skills in computational techniques, with particular focus on programming, numerical methods, and data analysis

Text books:
Course notes

Exam mode: Oral and lab exam

LABORATORIO DI CALCOLO 2

3° anno – 1° semestre

4 CFU – settore INF/01 – 40 ore di lezione in aula

Docente: M. Mazza (codocente: H. Speelers)

Programma: Il corso verte sulla programmazione in MATLAB. In particolare si considereranno nell'ambiente MATLAB: Manipolazione di vettori e matrici - Scripts e functions - Grafica 2D e 3D - Input e output - Implementazione di algoritmi numerici di moderata complessità

Obiettivi di apprendimento: Solide basi per la programmazione di algoritmi numerici attraverso il linguaggio MATLAB

Testi consigliati: Note del corso. Tutorial disponibile sul sito di MATLAB

Modalità di esame: Prova scritta

Program: The course concerns programming of numerical algorithms in MATLAB. In particular, we will address in MATLAB the following topics: Vectors and matrices - Scripts and functions - Graphics in 2D and 3D - Input and output - Implementation of simple numerical algorithms

Learning objectives: Solid basis for programming numerical algorithms through the MATLAB language

Text books: Lecture notes given by the teacher. Tutorial available on the MATLAB web site

Exam mode: Written exam

LABORATORIO DI MACCHINE PER LA FISICA E LA MATEMATICA

3° anno – 2° semestre

3 CFU – settore INF/01 – 24 ore di lezione in aula

Docente: F. Tovena (codocente: B. Scoppola)

Programma: Le macchine matematiche e fisiche hanno avuto un importante ruolo nello sviluppo della matematica e della fisica. Il loro utilizzo e la loro costruzione hanno, inoltre, un ruolo didattico, permettendo a chi le usa, di impadronirsi dei concetti alla base del funzionamento stesso. Saranno costruiti e discussi, in particolare, dispositivi per tracciare curve, strumenti di misura e modelli di sistemi fisici

Obiettivi di apprendimento: Comprendere, attraverso la costruzione e lo studio di macchine e materiali didattici, nozioni di fisica e matematica

Testi consigliati:
Note del corso

Modalità di esame: Prova orale e di laboratorio

Program: Mathematical and physical machines have played an important role in the development of mathematics and physics. Their use and construction also have an educational role, allowing those who use them to master the concepts underlying their functioning. In particular, devices for drawing curves, measuring instruments and models of physical systems will be built and discussed

Learning objectives: Understanding, through the construction and study of machines and teaching materials, notions of physics and mathematics

Text books:
Course notes

Exam mode: Oral and lab exam

LABORATORIO DI PROGRAMMAZIONE E INFORMATICA 1

1° anno – 1° semestre

10 CFU – settore INF/01 – 100 ore di lezione in aula

Docente: D. Giammarresi (codocente: C. Lhotka)

Programma: Introduzione ai computer e alla programmazione. Nozione di algoritmo e metodologie di analisi della complessità. Il linguaggio C: variabili e tipi di dati fondamentali. Istruzioni di input-output. Controllo del flusso. Operatori aritmetici, logici e relazionali. Le funzioni e il passaggio dei parametri. Le funzioni ricorsive. Gli array: definizioni e applicazioni. Media, mediana, moda. Problemi di ricerca e ordinamento su array. Analisi degli algoritmi e implementazione in C di selectionsort, bubblesort, insertionsort, mergesort e quicksort. Stringhe e algoritmi su analisi del testo. Le strutture. I puntatori e le strutture auto-referenzianti. Strutture dati elementari: liste, pile e code. Definizioni e loro implementazioni con strutture linkate. Alberi: definizioni, notazioni e proprietà. Implementazione con strutture linkate. Visita di alberi. Alberi binari di ricerca: definizione e implementazione in C. Grafi: definizioni e notazioni. Implementazioni con matrici di adiacenza e liste di adiacenza. Visite in ampiezza e in profondità di grafi non diretti

Obiettivi di apprendimento: Il corso si propone di illustrare alcuni concetti base di fondamenti di programmazione strutturata con riferimento al linguaggio C insieme a nozioni su strutture dati e algoritmi elementari. L'obiettivo è quello di rendere lo studente capace di elaborare tali concetti in maniera critica e di acquisire le conoscenze necessarie per risolvere con rigore i problemi proposti

Testi consigliati:
H. Deitel, P. Deitel: *Il linguaggio C - Fondamenti e Tecniche di Programmazione*, Pearson Education, 2016
Note del corso

Modalità di esame: Prova scritta, orale e di laboratorio

Program: Introduction to computers and programming. The notion of algorithm and its complexity analisys. The C programming language: variables and basic data types. Input-output instructions. Flow Control. Arithmetic, logical and relational operators. The functions and their parameters. Recursive functions. Arrays: definitions and applications. Analysis and implementation in C of selectionsort, bubblesort, insertionsort, mergesort and quicksort algorithms. Searching algorithms. String algorithms on text analysis. Structures and pointers in C. Elementary data structures: lists, stacks and queues. Definitions and their implementations with linked structures. Trees: definitions, notations and properties and implementation in C. Visit of trees. Search binary trees: definition and implementation in C. Graphs: definitions and notations. Implementations by matrices and lists. Simple algorithms on graphs

Learning objectives: The course is meant to supply the basic concepts of structured programming, referred to language C, together with notions of data structures and elementary algorithms. The goal is to make the student able to elaborate such concepts critically and have the know how to solve rigorously the proposed problems

Text books:
H. Deitel, P. Deitel: *Il linguaggio C - Fondamenti e Tecniche di Programmazione*, Pearson Education, 2016
Course notes

Exam mode: Written, oral and lab exam

LABORATORIO DI SPERIMENTAZIONE DI FISICA

3° anno – 1° semestre

3 CFU – settore FIS/01 – 30 ore di lezione in aula

Docente: V. Caracciolo

Programma: • Misura di una grandezza fisica: misura diretta e misura indiretta. • Grandezze fondamentali e derivate. • Sistemi di unità di misura. • Caratteristiche degli strumenti di misura. • Misure di lunghezza, di tempo e di massa. • Incertezze casuali ed incertezze sistematiche. • Stima delle incertezze delle misure. • Cifre significative. • Propagazione delle incertezze. • Circuiti elettrici. • Elementi passivi, generatori di corrente e di tensione. • Principi di Kirchhoff. • Strumenti di misura in corrente continua. • Il multimetro digitale. • Introduzione alle misure di ottica • Introduzione all'analisi statistica dei dati sperimentali. • Stime di parametri. • Test statistici. • Grafici.

Argomenti delle possibili esercitazioni: 1. Studio del periodo di un pendolo semplice 2. Moto di un proiettile: strumento balistico. 3. Moti oscillatori con molle. 4. Studio della legge di Boyle e di Gay Lussac. 5. Misura del calore specifico di una sostanza solida. 6. Studio della carica e scarica di un condensatore. 7. Studio di fenomeni di diffrazione della luce

Obiettivi di apprendimento: Apprendimento del metodo sperimentale per lo studio dei fenomeni fisici e valutazione delle incertezze nelle misure

Testi consigliati: Dispense del Corso e Guide alle esperienze di Laboratorio
Note del corso
V. Canale: *Fisica in laboratorio. Meccanica e Termodinamica*, Aracne, 2007
M. Severi: *Introduzione all'Esperimentazione di Fisica*, Zanichelli, 1986
M. Loreti: *Teoria degli errori e fondamenti di statistica*, Zanichelli, 1998
J. R. Taylor: *Introduzione all' analisi degli errori*, Zanichelli, 1982
R. Cervellati, D. Malosti: *Elettronica. Esercitazioni per il laboratorio di fisica*, Euroma La Goliardica, 1986

Modalità di esame: Prova di laboratorio e valutazione in itinere

Program: • Measurement of a physical quantity: direct and indirect measurements. • Fundamental quantities and derived ones. • Changing of measurement unit. • Basic characteristics of instruments. • Measurement of length, time and mass. • Random and systematic uncertainties. • Estimation of measurement uncertainties. • Propagation of uncertainties. • Relative uncertainty. • Electrical circuits. • Passive elements, current and voltage generators. • Kirchhoff's principles. • Instrument in DC. • Introduction to statistical analysis of experimental data. • Parameters estimation. • Statistical tests. • Graphs.

Outline of laboratory possible experiments: • Study of the period of a simple oscillator • Bullet motion: ballistic instrument • Oscillating motions with springs • Study of the Boyle and Gay Lussac laws • Measurement of the heat capacity of a solid substance • Study of the charge and discharge of a capacitor • Study of light diffraction phenomena

Learning objectives: To equip students with a working knowledge of experimental methods required to study physical phenomena

Text books: Lecture notes and tutorial for laboratory experiments
Course notes
V. Canale: *Fisica in laboratorio. Meccanica e Termodinamica*, Aracne, 2007
M. Severi: *Introduzione all'Esperimentazione di Fisica*, Zanichelli, 1986
M. Loreti: *Teoria degli errori e fondamenti di statistica*, Zanichelli, 1998
J. R. Taylor: *Introduzione all' analisi degli errori*, Zanichelli, 1982
R. Cervellati, D. Malosti: *Elettronica. Esercitazioni per il laboratorio di fisica*, Euroma La Goliardica, 1986

Exam mode: Lab exam and 'in itinere' evaluation

PROBABILITÀ E FINANZA

3° anno – 1° semestre

6 CFU – settore MAT/06 – 48 ore di lezione in aula

Docente: B. Torti (codocente: L. Caramellino)

Programma: Cenni di teoria della misura: algebre e sigma-algebre; spazi misurabili e funzioni misurabili. Richiami di Probabilità. Spazi di probabilità. Variabili aleatorie come funzioni misurabili. Sigma-algebre indipendenti. Aspettazione condizionale. Martingale, supermartingale e submartingale; la decomposizione di Doob ed il compensatore. Tempi d'arresto: processi arrestati; il teorema d'arresto. (circa 24 ore)
Tassi di interesse. Contratti forward, opzioni. Modelli discreti per la finanza. Strategie di gestione. L'arbitraggio. Strategie replicanti. Opzioni europee: il primo teorema fondamentale dell'asset pricing; la completezza del mercato ed il secondo teorema fondamentale dell'asset pricing. (circa 6 ore)
Il modello CRR (Cox, Ross e Rubinstein): calcolo del prezzo delle opzioni, comportamento asintotico e convergenza alle formule di Black e Scholes. (circa 6 ore)
Opzioni americane nei mercati completi: formulazione del prezzo e formula della funzione-prezzo della put americana nel modello CRR. Calcolo delle strategie replicanti per le opzioni. (circa 4 ore)
Metodi numerici per la finanza. Principio di programmazione dinamica e metodi Monte Carlo. (circa 8 ore)

Obiettivi di apprendimento: Comprensione del linguaggio proprio della finanza matematica; conoscenza dei modelli discreti per la finanza e della risoluzione dei principali problemi legati alle opzioni, cioè calcolo del prezzo e della copertura

Testi consigliati:
P. Baldi, L. Caramellino: *Note del corso*

Modalità di esame: Prova orale e valutazione di progetto

Program: Elements of measure theory: algebras and sigma-algebras; measurable spaces and measurable functions. Recalls of Probability. Probability spaces. Random variables as measurable functions. Independence among sigma-algebras. Conditional expectation. Martingale, supermartingale and submartingale; Doob's decomposition and compensator. Stopping times: Stopped process; the stopping theorem. (approx. 24 hours)
Interest rates. Forward contracts, options. Discrete models for finance. Trading strategies. Arbitrage. Replicating strategies. European options: the first fundamental theorem of asset pricing; market completeness and the second fundamental theorem of asset pricing. (approx. 6 hours)
The CRR model (Cox, Ross and Rubinstein): option pricing, asymptotic behavior and convergence to the Black and Scholes formulas. (approx. 6 hours)
American options in complete markets: price formulation and function-price formula for the American put in the CRR model. Calculation of replicating strategies for options. (approx. 4 hours)
Numerical methods for finance. Dynamic programming principle and Monte Carlo methods. (approx. 8 hrs.)

Learning objectives: Understanding of the mathematical finance language; knowledge of discrete models for finance, in particular for solving the most common problems related to options, that is pricing and hedging

Text books:
P. Baldi, L. Caramellino: *Course notes*

Exam mode: Oral exam and project evaluation

PROBABILITÀ E STATISTICA

2° anno – 2° semestre

9 CFU – settore MAT/06 – 90 ore di lezione in aula

Docente: C. Macci (codocente: B. Pacchiarotti)

Nota. Dall'A.A. 2025/26, la denominazione del corso è *Probabilità*

Programma: Introduzione e generalità. Spazi di probabilità, assiomi fondamentali, probabilità condizionata, indipendenza, formula di Bayes (circa 20 ore).
Variabili aleatorie: valore atteso, varianza, densità discreta, funzione di ripartizione. Variabili aleatorie discrete: Bernoulli, Binomiale, Poisson, ipergeometrica, geometrica, binomiale negativa (circa 30 ore).
Variabili aleatorie continue: funzione di densità. Variabile aleatoria uniforme, esponenziale, Gamma, Gaussiana. Disuguaglianze fondamentali. Convergenza e teoremi limite: legge dei grandi numeri e teorema del limite centrale (circa 20 ore).
Cenni alle catene di Markov (circa 20 ore)

Obiettivi di apprendimento: Fornire una introduzione alle nozioni base della probabilità, partendo dalla assiomatizzazione della teoria per arrivare ai teoremi limite e alle catene di Markov

Testi consigliati:
P. Baldi: *Calcolo delle Probabilità e Statistica*, McGraw Hill, 2011
Esercizi e problemi proposti nelle sessioni di tutorato

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Introduction and generalities. Probability spaces: basic axioms, conditional probability, Independence, Bayes formula (about 20 hours).
Random variables: expected value, variance, discrete density, distribution function. Discrete random variables: Bernoulli, binomial, hypergeometric, geometric, Pascal (about 30 hours).
Continuous random variables: Uniform, exponential, Gamma, Gaussian. Fundamental inequalities. Convergence and limit theorems: law of large numbers and central limit theorem (about 20 hours).
Introduction to Markov chains (about 20 hours)

Learning objectives: To provide an introduction to the basic tools of probability theory, starting from the fundamental axioms till asymptotic theory, limit theorems and Markov chains

Text books:
P. Baldi: *Calcolo delle Probabilità e Statistica*, McGraw Hill, 2011
Exercises and problems proposed in the tutoring sessions

Exam mode: Written and oral exam

STATISTICA

3° anno – 1° semestre

6 CFU – settore MAT/06 – 48 ore di lezione in aula

Docente: D. Marinucci

Programma: Introduzione - richiami di teoria asintotica. Proprietà degli stimatori: principio di verosimiglianza, sufficienza, non-distorsione, efficienza. Teorema di Cramer-Rao, matrice di informazione di Fisher. Stimatore di massima verosimiglianza, proprietà asintotiche. Statistica Bayesiana. Test delle ipotesi e intervalli di confidenza. Il modello lineare, stimatori OLS e GLS. Statistica nonparametrica

Obiettivi di apprendimento: Il corso fornisce una introduzione ai temi classici della statistica ed ai suoi fondamenti matematici

Testi consigliati:
L. A. Wasserman: *All of Statistics*, Springer, 2004
Documentazione R

Modalità di esame: Prova scritta e orale

Program: Introduction - asymptotic theory. Estimators and their properties: likelihood principle, sufficiency, unbiasedness, efficiency. Cramer-Rao theorem, Fisher information. Maximum likelihood and its asymptotic properties. Bayesian statistics. Hypothesis testing and confidence intervals. Lienar models, OLS and GLS estimators. Nonparametric statistics

Learning objectives: The aim of this course is to provide an introduction to the theory of statistics and its mathematical foundations

Text books:
L. A. Wasserman: *All of Statistics*, Springer, 2004
Documentazione R

Exam mode: Written and a oral exam

Legenda dei settori scientifico disciplinari

- **MAT/01**: logica;
- **MAT/02**: algebra;

- **MAT/03**: geometria;
- **MAT/04**: didattica della matematica;
- **MAT/05**: analisi matematica;
- **MAT/06**: probabilità e statistica matematica;
- **MAT/07**: fisica matematica;
- **MAT/08**: analisi numerica;
- **MAT/09**: ricerca operativa;
- **FIS/01**: fisica sperimentale;
- **INF/01**: informatica.

La guida didattica è stata redatta da Barbara Pacchiarotti e Anastasia Marcacci. Si ringrazia Hendrik Speleers per la realizzazione dell'impaginazione in LaTeX.