

Corso di Laurea Magistrale in MATEMATICA PURA ED APPLICATA

(LM-40 Matematica)

INFORMAZIONI

Segreteria didattica: Sig.ra Laura Filippetti, tel. 06 72594839

Coordinatore corso di laurea magistrale: Prof. Stefano Trapani

Sito web: <http://www.mat.uniroma2.it/didattica/>

E-mail dida@mat.uniroma2.it

Il Corso di Laurea in Matematica Pura ed Applicata si inquadra nella Classe delle Lauree Magistrali in Matematica (Classe LM-40 del DM 16 Marzo 2007 “Determinazione delle classi di laurea”) ed afferisce al Dipartimento di Matematica (DM). La durata del Corso di Laurea è normalmente di due anni.

Il corso di laurea magistrale in Matematica Pura e Applicata (MPA) si propone di sviluppare competenze e conoscenze avanzate in vari settori della matematica, garantendo ai suoi iscritti ampia possibilità di approfondimento sia degli aspetti teorici di questa disciplina che delle sue applicazioni.

Sono possibili percorsi formativi differenziati, atti ad integrare e completare la formazione matematica di ciascuno studente. Tuttavia, in ogni ambito vengono sottolineati gli aspetti metodologici al fine di assicurare una profonda comprensione della materia e la capacità di aggiornare costantemente le competenze acquisite. Con l'intento di accrescere le capacità di autonomia degli studenti, e per permettere la formulazione di piani di studio che si adattino alle esigenze di una società in rapida evoluzione, si è previsto un elevato grado di libertà nella scelta degli insegnamenti.

Il percorso formativo è caratterizzato dalla presenza, all'inizio, di insegnamenti intesi a fornire un quadro ampio e organico di argomenti di carattere avanzato nelle discipline fondamentali (algebra, analisi, geometria, fisica matematica, analisi numerica, probabilità). Successivamente, sono offerti insegnamenti a carattere specialistico, volti ad accogliere specifici interessi sviluppati dagli studenti, nonché a coadiuvare lo svolgimento del lavoro di tesi, cui è attribuita una valenza determinante per il compimento del ciclo di studi.

Oltre ad avere un'approfondita conoscenza sia degli aspetti disciplinari sia di quelli metodologici della matematica, i laureati magistrali in MPA devono essere in grado di esprimere le proprie conoscenze in contesti professionali sia specifici sia interdisciplinari. Lo studente viene altresì sollecitato ad acquisire un contatto diretto con la letteratura matematica, anche a livello di ricerca, e ad affinare le capacità individuali di orientarsi nella consultazione di testi e nella creazione di bibliografie sia in italiano che in inglese. La redazione della prova finale costituisce, tra l'altro, una verifica dell'acquisizione di queste competenze e della padronanza delle tecniche usuali della comunicazione scientifica in ambito matematico.

Grazie alla sua formazione, il laureato magistrale in MPA potrà, a seconda dei casi, proseguire negli studi partecipando a programmi di dottorato in discipline matematiche o inserirsi nel mondo del lavoro, sia utilizzando le specifiche competenze acquisite che valorizzando le sue capacità di flessibilità mentale e di collaborazione con altri esperti.

Grazie alle conoscenze e alle competenze acquisite, ivi inclusa la mentalità flessibile e l'esperienza accumulata nell'analisi e soluzione di problemi, i laureati magistrali in Matematica Pura e Applicata potranno disporre di un'ampia gamma di sbocchi occupazionali e professionali. I settori più indicati sono quelli in cui la matematica svolge un ruolo centrale sotto il profilo applicativo o teorico, o quantomeno costituisce un ambito chiaramente correlato quanto a importanza quali, ad esempio,

- . • l'elaborazione e l'analisi di modelli a supporto dei processi industriali;
- . • l'analisi statistica dei dati;
- . • l'insegnamento;
- . • la diffusione della cultura scientifica;
- . • l'avviamento alla ricerca pura e applicata in un corso di dottorato;
- . • l'informatica e la telematica.

Inoltre, qualora il corso di laurea magistrale in Matematica Pura e Applicata si innesti su un corso di laurea triennale in discipline affini, sarà possibile un pronto inserimento dei laureati anche in professioni o campi di studio differenti. Un'analisi recente dei diversi impieghi ad alto livello dei laureati in Matematica in Italia si può trovare sul sito: <http://mestieri.dima.unige.it/>.

Per conseguire la Laurea Magistrale in matematica Pura ed Applicata lo studente deve aver acquisito almeno 120 crediti (CFU) nell'ambito delle varie attività didattiche. L'attività formativa prevede insegnamenti teorici e pratici suddivisi in moduli didattici caratterizzanti, moduli didattici di materie affini o integrative, moduli didattici concernenti attività formative complementari. I risultati della preparazione vengono verificati nel corso di prove individuali di esame e nell'ambito dell'elaborazione della prova finale. Tutti i percorsi formativi danno ampio spazio a esercitazioni e ad attività di tutorato e di laboratorio. La ripartizione delle attività formative per il Corso di Laurea Magistrale in Matematica pura ed Applicata è contenuto nell'Ordinamento del Corso di Laurea, disponibile alla pagina <http://www.mat.uniroma2.it/didattica/regole.php> del sito del corso di Laurea Magistrale in matematica Pura ed Applicata

La prova finale per il conseguimento della Laurea Magistrale richiede la stesura di una tesi elaborata in modo originale dallo studente, comprendente la redazione di un documento scritto (eventualmente anche in lingua inglese) e una prova seminariale conclusiva. La scelta dell'argomento della tesi deve essere concordata con un docente scelto dallo studente, che svolge le funzioni di relatore. La tesi dovrà evidenziare nei suoi contenuti la maturità culturale del laureando in un'area disciplinare attinente alla sua formazione curricolare. La prova finale verrà valutata in base alla originalità dei risultati, alla padronanza dell'argomento, all'autonomia e alle capacità espositiva e di ricerca bibliografica mostrate dal candidato.

I crediti relativi alle attività didattiche caratterizzanti, affini o integrative sono acquisiti seguendo moduli didattici, e superando i relativi esami, secondo il piano delle attività formative ed in base alla programmazione didattica definiti dal Consiglio di Corso di Laurea. I crediti relativi alle attività a scelta dello studente, così come i crediti relativi alle attività art.10, comma 5 lett. d, vengono normalmente acquisiti da parte dello studente mediante la frequenza di insegnamenti scelti, mediante la formulazione di un piano di studi, nell'ambito delle opzioni proposte dal Consiglio del Dipartimento di Matematica (CDM). Modalità diverse di acquisizione di tali crediti proposte dallo studente verranno

valutate dal CDM in riferimento agli obiettivi formativi del corso di laurea ed alla valenza culturale complessiva del piano di studio proposto.

Schema del piano di studio

Attività formative caratterizzanti 44 CFU

Formazione affine ed integrativa 28 CFU

Formazione a scelta 16 CFU

Prova finale 27 CFU

Altre attività formative (ulteriori attività formative art.10, comma 5, lettera d) 5 CFU

Attività Formative Caratterizzanti: 44 CFU (i corsi a scelta di questa sezione devono far parte della programmazione didattica del corso di studio)

CAM 1 (6 CFU)

CAM 2 (6 CFU)

Corsi a scelta nei settori disciplinari MAT01/MAT05 per un totale di 16 CFU

Corsi a scelta nei settori disciplinari MAT06/MAT09 per un totale di 16 CFU.

Formazione Affine ed Integrativa: 28 CFU (i corsi a scelta di questa sezione devono far parte della programmazione didattica del corso di studio)

Laboratorio di Calcolo 4 CFU

Corsi a scelta per 24 CFU nei settori affini (dei quali 16 CFU al massimo di settori MAT)

Attività a scelta (AAS): Corsi per 16 CFU a libera scelta

Attività formative per Prova Finale: 27 CFU

Lo studente dovrà inoltre scegliere almeno 4 settori MAT diversi ed almeno un corso in ciascuna delle seguenti coppie di settori: MAT02/MAT03, MAT05/MAT07, MAT06/MAT08.

Di norma entro il mese di ottobre, lo studente presenta al Consiglio di Dipartimento una proposta di piano di studio. Il Consiglio valuterà entro il mese di dicembre il piano di studio proposto. Qualora l'iscrizione alla Laurea Magistrale avvenga in un periodo diverso dell'anno, s'intende che il piano di studio va presentato entro un mese dall'iscrizione e che il Consiglio è tenuto a valutarlo il prima possibile. I piani di studio vengono preventivamente valutati da una apposita commissione che verifica la loro coerenza con gli obiettivi formativi. Il piano di studio non può comprendere insegnamenti i cui programmi siano stati già svolti da insegnamenti relativi al conseguimento dei 180 CFU della laurea triennale.

Percorso FIT

Il percorso FIT (Formazione Iniziale Tirocinio) è riservato all'inserimento nella funzione docente della scuola secondaria. Per potervi accedere occorre conseguire 24 crediti formativi in forma curricolare, aggiuntiva o extra curricolare nelle discipline antropo-psico-pedagogiche e nelle metodologie e

tecnologie didattiche. Lo studente interessato a maturare questi crediti all'interno del proprio curriculum di laurea magistrale, oltre ad iscriversi al percorso FIT di Ateneo, dovrà inserire nel proprio piano di studio almeno 12 CFU nel settore MAT/04 e due insegnamenti di almeno 6 CFU ciascuno (nelle AAS dello studente) in due distinti tra i seguenti ambiti disciplinari:

- Pedagogia, Pedagogia speciale e didattica dell'inclusione
- Psicologia
- Antropologia.

Per l'elenco degli esami disponibili in tali ambiti nonché per ogni altra informazione si invita a consultare il sito di Ateneo.

Modalità e requisiti di ammissione al Corso di Laurea magistrale

Il Corso di Laurea Magistrale in Matematica Pura ed Applicata non è ad accesso programmato.

Per essere ammessi al corso occorre essere in possesso della laurea o del diploma universitario di durata triennale, ovvero di un altro titolo di studio conseguito all'estero riconosciuto idoneo. Sono inoltre richiesti specifici requisiti curriculari, caratteristici delle lauree in discipline matematiche. La natura interdisciplinare della matematica rende possibile anche a studenti che abbiano conseguito la laurea in altri settori, di accedere alla laurea magistrale in Matematica Pura ed Applicata purché in possesso dei suddetti requisiti.

Tutti gli studenti che intendano immatricolarsi sono invitati a farne richiesta secondo le modalità previste dall'ateneo. Le domande pervenute saranno esaminate dal Coordinatore del Corso di Studio, ed eventualmente da una commissione. La valutazione seguirà comunque i seguenti criteri.

- Verranno accolte tutte le domande di studenti in possesso di laurea in Matematica conseguita nel nostro ateneo.
- Per tutti gli altri studenti, la commissione valuterà il possesso delle conoscenze e competenze necessarie per l'accesso sulla base della documentazione presentata. Ove necessario, la commissione potrà richiedere ulteriori informazioni relative al curriculum, eventualmente tramite un colloquio di natura non tecnica.
- Indicativamente, verranno accolte le domande di tutti i laureati triennali delle classi L-32 (DM 509/1999) e L-35 (DM 270/2004) provenienti da qualsiasi ateneo italiano (o di studenti in possesso di analogo titolo di studio estero).
- La commissione potrà consigliare e/o autorizzare l'inserimento, nel piano di studio della laurea magistrale, di uno o più insegnamenti della laurea triennale in matematica -non già inclusi nell'offerta formativa relativa alla laurea magistrale -per un massimo di 24 CFU.

Si invitano gli interessati a richiedere un parere preventivo ed informale da parte della Commissione scrivendo a dida@mat.uniroma2.it e allegando il proprio curriculum studiorum con elenco degli esami sostenuti, completo di crediti formativi, settori disciplinari e programmi relativi.

Percorso di Eccellenza

È attivo presso il Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" un Percorso di Eccellenza (PE) per il corso di Laurea Magistrale in Matematica Pura e Applicata con lo scopo di valorizzare la formazione degli studenti meritevoli ed interessati ad attività di

approfondimento metodologico e applicativo su tematiche di interesse per la Matematica Pura e Applicata. Possono richiedere l'accesso al PE solo gli studenti regolarmente iscritti al corso di laurea magistrale in Matematica Pura ed Applicata dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" che abbiano conseguito il diploma di laurea triennale nella classe L-35 riportando una votazione non inferiore a 105/110 conseguito entro il terzo anno in corso. È richiesta una lettera di presentazione redatta da un docente del Dipartimento presso il quale si sono laureati. Le istanze possono essere presentate al coordinatore del corso di studio entro la data di scadenza dell'iscrizione al corso di laurea Magistrale in Matematica Pura ed Applicata. L'accesso al PE è inoltre subordinato al superamento di un colloquio con i docenti della Commissione del PE. Gli iscritti al PE dovranno soddisfare i seguenti vincoli:

- essere studenti in corso;
- maturare almeno 64 CFU da insegnamenti proposti nella Guida dello Studente della Laurea Magistrale in Matematica;
- mantenere una votazione media pesata non inferiore a ventotto trentesimi (28/30) e un voto minimo di almeno 25/30;
- superare almeno 44 CFU entro la sessione invernale del primo anno;
- maturare almeno 5 crediti in più all'anno attraverso attività proposte dallo studente ed approvate dalla commissione del PE (tramite insegnamenti del corso di dottorato in Matematica di Tor Vergata, oppure attraverso corsi proposti per il PE, oppure tramite corsi di lettura guidati da docenti, ovvero tramite corsi estivi della Scuola Matematica Interuniversitaria, o insegnamenti tenuti nell'ambito di accordi di Tor Vergata con enti esterni).

Gli studenti Erasmus che svolgono una parte del loro curriculum presso una Università straniera ed hanno accesso al PE possono svolgere parte del percorso presso l'istituzione estera che li ospita. Al termine dell'anno accademico l'attività dello studente verrà valutata da un docente tutor ed in caso di valutazione positiva, la Commissione del PE dispone l'ammissione all'anno successivo del PE.

La commissione del PE effettuerà una verifica finale non appena lo studente avrà conseguito tutti i crediti previsti dalle attività formative del suo piano di studio.

La laurea deve essere conseguita entro la sessione invernale dell'anno accademico del secondo anno con la votazione minima di 110/110. Contestualmente al conseguimento del titolo di studio, lo studente che ha concluso il percorso di eccellenza riceverà un'attestazione del percorso svolto.

Premi di Laurea

Il Dipartimento di Matematica dell'Università di Roma "Tor Vergata" premia le tesi di laurea magistrale dei laureati in Matematica Pura ed Applicata presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" che siano risultate particolarmente meritevoli. A tal fine, assegna annualmente fino a dieci premi da 2.000,00 (duemila) euro ciascuno ai laureati che abbiano prodotto una tesi che soddisfi almeno uno dei seguenti requisiti:

- contenga un risultato originale rilevante;
- contenga una implementazione efficiente e/o una sperimentazione numerica particolarmente significativa;
- contenga una esposizione chiara ed approfondita di risultati particolarmente rilevanti.

Il bando di concorso, deliberato dal Consiglio di Dipartimento, è pubblicato annualmente. Possono partecipare al concorso solo i laureati magistrali in Matematica Pura ed Applicata dell'Università di Roma "Tor Vergata" che abbiano conseguito il titolo da Luglio dell'anno precedente il bando a Maggio dell'anno in cui viene pubblicato il bando. Il titolo deve essere stato conseguito in corso e la votazione non inferiore a 110/110. Per i premi banditi nel 2018 possono concorrere i laureati magistrali in Matematica dell'Università di Roma "Tor Vergata", che abbiano ricevuto il titolo da Luglio 2016 a Maggio 2018. I finanziamenti relativi graveranno sui fondi del progetto di eccellenza MATH@TOV. Il bando, appena disponibile, sarà pubblicato sul sito del dipartimento di Matematica.

Calendario 2018/19

Gli insegnamenti del primo semestre si terranno dal 1 Ottobre 2019 al 21 Dicembre 2018. Quelli del secondo semestre dal 4 marzo 2019 al 7 Giugno 2019. Il 20 Settembre 2018 alle ore 10.00, in aula L3, si terrà un incontro con gli studenti nel quale i docenti illustreranno brevemente i programmi dei corsi.

Vita pratica

La maggior parte delle informazioni è riportata nel sito web del Corso di Studi: <http://mat.uniroma2.it/didattica>. Informazioni si possono anche ottenere per posta elettronica all'indirizzo dida@mat.uniroma2.it oppure rivolgendosi alla segreteria del Corso di LM, Sig.ra Filippetti, tel. 06 7259 4839.

Esami

Gli insegnamenti prevedono due appelli d'esame nella sessione estiva anticipata (gennaio - febbraio), nella sessione estiva (giugno/luglio) e nella sessione autunnale (settembre).

Trasferimenti

Gli studenti che intendono trasferirsi al corso di laurea magistrale in Matematica Pura ed Applicata possono richiedere un parere preventivo ed informale da parte della Commissione scrivendo a dida@mat.uniroma2.it e allegando il proprio curriculum studiorum con elenco degli esami sostenuti, completo di crediti formativi, settori disciplinari e programmi relativi. Se lo studente ottiene un parere positivo dovrà seguire le modalità previste dall'ateneo per i trasferimenti.

Gli studenti che si trasferiscono al Corso di Laurea Magistrale in Matematica Pura ed Applicata provenendo da altri Corsi di Magistrale, possono chiedere il riconoscimento dei crediti relativi ad esami sostenuti nel corso di studi d'origine. Il Consiglio valuterà di volta in volta le singole richieste.

Programmazione didattica A.A. 2018/19

Le istruzioni seguenti si riferiscono alla Laurea Magistrale relativa all'ordinamento del D.M. 270/04.

I SEMESTRE

Teoria della misura (CAM/1) (6 CFU) - attività caratterizzante – obbligatoria

*** Laboratorio di calcolo (4 CFU) - attività affine – obbligatoria**

Algebra commutativa (8 CFU)

Algebre di operatori (8 CFU)

*Algoritmi e strutture dati 2 (6 CFU) – mutuato da LM Informatica

*Analisi di reti (6 CFU) – mutuato L.M. Informatica

*Chimica generale (8 CFU) – mutuato da Scienza dei Materiali

* Complementi di fisica (8 CFU)

CAN/1- Modellizzazione geometrica e simulazione numerica (8 CFU)
 Complementi di probabilità (8 CFU)
 Complementi di topologia algebrica (8 CFU)
 Elementi di analisi numerica (8 CFU)
 Equazioni differenziali (8 CFU)
 *Fisica dei fluidi complessi e turbolenza (8 CFU) – mutuato da Fisica
 Geometria algebrica (8 CFU)
 Geometria complessa (8 CFU)
 Introduzione alle varietà differenziabili (8 CFU)
 Laboratorio di didattica della matematica (8 CFU)
 Logica Matematica 1 (8 CFU)
 *MMMF: Metodi e modelli dei mercati finanziari (8 CFU)
 Meccanica analitica e celeste (FM3) (8 CFU)
 Meccanica statistica 2 (6 CFU) – mutuato da LM in fisica
 Metodi e modelli in computer graphics (8 CFU)
 *Natural language processing (6 CFU) – mutuato L.M. Informatica
 Numerical methods for computer graphics in Java (8 CFU)
 *Relatività e cosmologia 8 cfu – mutuato per 6 cfu dall'insegnamento Relativity and cosmology 1, 6 cfu, cdl Triennale in Fisica, secondo semestre, e per 2 cfu da Relativity and cosmology 2, cdl Magistrale in Fisica, primo e secondo semestre
 Storia e didattica della matematica (8 CFU)
 Teoria dei giochi e progetto di reti (9 CFU) – mutuato L.M. Ingegneria Gestionale
 Teoria delle rappresentazioni 1 (8 CFU)

II SEMESTRE

CAM2 – Introduzione all'analisi funzionale (6 CFU) – attività caratterizzante - obbligatoria

Analisi armonica (8 CFU)
 *Codifica e compressione di segnali e immagini (8 CFU)
 CAN2 – Complementi di analisi numerica 2 (8 CFU)
 Elementi di probabilità 1 (8 CFU)
 EAM 1- Teoria spettrale (8 CFU)
 EAM 2 – Spazi di Sobolev e soluzioni deboli (8 CFU)
 Fisica computazionale (9 CFU) mutuato da LM fisica
 Geometria differenziale (8 CFU)
 *Introduzione ai processi aleatori (8 CFU)
 Metodi computazionali per sistemi hamiltoniani (8 CFU)
 Meccanica superiore 2 (8 CFU)
 *Progettazione di sistemi informatici (8 CFU)
 Statistical learning and high dimensional data (8 CFU)
 Storia della scienza (8 CFU)
 Superfici di Riemann (8 CFU)
 Teoria dei fibrati (8 CFU)
 *Machine learning (9 CFU)
 *Web mining and Retrieval (9 CFU)

NOTA: L'asterisco (*) indica i corsi che, se inseriti nel piano di studio, devono far parte delle attività affini o a scelta dello studente.

Ripartizione dell'offerta formativa dei settori MAT

SETTORE MAT/01: LOGICA MATEMATICA

- *Logica matematica 1*

SETTORE MAT/02: ALGEBRA

- *Algebra commutativa*
- *Teoria delle rappresentazioni 1*

SETTORE MAT/03: GEOMETRIA

- *Complementi di topologia algebrica*
- *Geometria algebrica*
- *Geometria complessa*
- *Geometria differenziale*
- *Introduzione alle varietà differenziabili*
- *Teoria dei fibrati*
- *Superfici di Riemann*

SETTORE MAT/04: MATEMATICHE COMPLEMENTARI

- *Storia della scienza*
- *Storia e didattica della matematica*
- *Laboratorio di didattica della matematica*

SETTORE MAT/05: ANALISI MATEMATICA

- *Algebre di operatori*
- *Analisi armonica*
- *CAM/1: Teoria della misura*
- *CAM/2: Introduzione all'analisi funzionale*
- *EAM/1: Teoria spettrale*
- *EAM/2: Spazi di Sobolev e soluzioni deboli*
- *Equazioni differenziali*

SETTORE MAT/06: PROBABILITÀ

- *Complementi di probabilità*
- *Elementi di probabilità 1*
- *Statistical learning and high dimensional data*

SETTORE MAT/07: FISICA MATEMATICA

- *Meccanica analitica e celeste*
- *Metodi computazionali per sistemi hamiltoniani*

- *Meccanica superiore 2*

SETTORE MAT/08: ANALISI NUMERICA

- *CAN/1 – Modellizzazione geometrica e simulazione numerica*
- *Elementi di Analisi numerica*
- *Numerical methods for computer graphics in Java*
- *CAN/2 – Complementi di analisi numerica 2*
- *Metodi e modelli in computer graphics*

SETTORE MAT/09: RICERCA OPERATIVA

- *Teoria dei giochi e progetto di reti*

Programmi dei corsi

ANALISI ARMONICA - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/05 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Alfonso Sorrentino

Programma. Serie di Fourier (trigonometriche ed in forma complessa): convergenza L2, puntuale ed uniforme. Ordine di infinitesimo dei coefficienti di Fourier. Fenomeno di Gibbs (tempo permettendo). Identità approssimate. Convoluzioni e nuclei di sommabilità (cenni). Trasformata di Fourier in L1. ed in L2 . Trasformata di Fourier della derivata e della convoluzione. Teorema di inversione e teorema di Plancherel. Classe di Schwartz. La trasformata di Fourier nella classe di Schwartz. Classe di Paley-Wiener. Formula di somma di Poisson. Distribuzioni temperate e loro trasformata di Fourier (trattazione completa o per cenni a seconda della disponibilità di tempo). Trasformata di Fourier di distribuzioni discrete e periodiche e relazione con la serie di Fourier. Campionamento. Teorema di Shannon. Aliasing. Trasformata di Fourier discreta e sue proprietà. Trasformata rapida di Fourier. Trasformata discreta dei coseni.

Obiettivi di apprendimento. Completa e profonda comprensione degli argomenti del corso, con la capacità sia di risolvere problemi, sia di presentare enunciati e dimostrazioni di tutti i risultati in maniera corretta e comprendendo perché le ipotesi sono necessarie. Lo studente deve acquisire una assimilazione matura dei contenuti ed essere in grado di applicarli ai corsi successivi comprendendo perché le ipotesi sono necessarie. Lo studente deve acquisire una assimilazione matura dei contenuti.

Testi consigliati. M. Picardello, “Analisi armonica: aspetti classici e numerici” (disponibile online a http://www.mat.uniroma2.it/~picard/SMC/didattica/materiali_did/home_materiali_STM.html)

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. Fourier series: L2 convergence, pointwise and uniform convergence. Rate of decay of Fourier coefficients. Gibbs phenomenon (if there is time). Approximate identities. Convolutions and summation kernels (outline). Fourier transforms in L1 and L2. Fourier transform of derivatives and of convolution. The inversion theorem and the Plancherel theorem. The Schwartz class. Fourier transform on the Schwartz class. The Paley-Wiener class. Poisson summation formula. Tempered distributions and the Fourier transform (in detail or outline according to time availability). Fourier transform of discrete periodic distributions and connection with Fourier series. Uniform sampling. The Shannon sampling theorem. Aliasing. The Discrete Fourier Transform and its properties. The Fast Fourier

Transform. The Discrete Cosine Transform.

Learning objectives. Full and complete understanding of the course's topics. The students must be able to solve problems and to present all statements and proofs in full detail, and have a clear understanding of why the assumptions are needed. This understanding must be acquired in depth, with the capability of applying the contents to the contents of related courses.

Text books. M. Picardello, "Analisi armonica: aspetti classici e numerici" (disponibile online a http://www.mat.uniroma2.it/~picard/SMC/didattica/materiali_did/home_materiali_STM.html)

Exam mode. Written and oral exam

ALGEBRA COMMUTATIVA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/02 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Renatus Johannes Schoof

Programma. La teoria di categorie, moduli, localizzazione, schemi.

Obiettivi di apprendimento. Si tratta di un proseguimento dei corsi di Algebra 1 e 2.

Testi consigliati. Atiyah, M.F. MacDonald, I.G.: Introduction to Commutative Algebra, Addison-Wesley 1969; Akhil Mathew: The CRing Project, Harvard University, MA; Emily Riehl: Category theory in context; Bourbaki, N.: Elements of Mathematics: Commutative algebra, Chapters 1-7, Springer-Verlag 1989.

Modalità di esame. Prova scritta

Program. The theory of categories, modules, localization and schemes.

Learning objectives. This is a continuation of the Algebra 1 and Algebra 2 courses.

Text books. Atiyah, M.F. MacDonald, I.G.: Introduction to Commutative Algebra, Addison-Wesley 1969; Akhil Mathew: The CRing Project, Harvard University, MA; Emily Riehl: Category theory in context; Bourbaki, N.: Elements of Mathematics: Commutative algebra, Chapters 1-7, Springer-Verlag 1989.

Exam mode. Written exam

ALGEBRE DI OPERATORI (ALO) - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/05 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Francesco Fidaleo

Programma. Algebre di Banach e C^* -algebre, spettro e calcolo funzionale. Funzionali lineari positivi, stati e rappresentazioni; rappresentazione di Gelfand-Naimark-Segal (GNS). Struttura delle C^* -algebre finito-dimensionali. Algebre concrete di operatori su spazi di Hilbert: il teorema del bicommutante di J. von Neumann e le algebre di von Neumann (AvN). W^* -algebre: caratterizzazione in termini del preduale, identificazione delle algebre di von Neumann come W^* -algebre concrete. Algebre di operatori abeliane. CLASSIFICAZIONE delle W^* -algebre: Geometria delle proiezioni. Tracce normali semifinite fedeli. Classificazione delle W^* -algebre. TEORIA MODULARE di TOMITA: Stati normali e fedeli, e vettori ciclici e separanti su una AvN : operatore S di Tomita. Operatore Delta e coniugazione J di Tomita. Gruppi a un parametro di automorfismi normali e condizione di Kubo-Martin-Schwinger (KMS), Teorema di Tomita. Pesi normali semifiniti fedeli: generalizzazione al caso non sigma-finito (cenni). Rappresentazione standard di una W^* -algebra, esempi: algebre di matrici, algebra di tutti gli operatori limitati $B(H)$ agenti sullo spazio di Hilbert H , prodotti tensoriali infiniti. APPLICAZIONI: Applicazioni della condizione di KMS alla Meccanica Statistica Quantistica. Applicazioni alla classificazione di Connes dei fattori di tipo III (cenni). Attese condizionate normali e fedeli, teorema di esistenza di Takesaki, generalizzazione di Accardi-Cecchini e applicazioni alla Probabilità Quantistica

(cenni).

Obiettivi di apprendimento. Nonostante la vastità e la complessità delle tematiche, il corso "Algebre di Operatori" si prefigge di fornire le nozioni basilari (ma non solo) nella maniera più semplice possibile, di questa affascinante disciplina che ha permesso di spiegare molti fenomeni della fisica moderna, e che ha notevoli applicazioni a svariati campi della matematica e della fisica stessa. La parte finale del corso provvederà a fornire alcune di queste stimolanti applicazioni.

Testi consigliati. (1) O. Bratteli, D. W. Robinson: Operator algebras and quantum statistical mechanics I, II, Springer (paragrafi 2.1-2.5, 5.3.1). (2) M. Takesaki: Theory of operator algebras I, Springer (paragrafi I.1-5, I.9, II.1, II.1-4, III.1-3, V.1-2). S. Stratila, L. Zsido: Lectures on von Neumann algebras, Abacus press (paragrafi 1, 3, 4, 5 e parte del 10). (4) S. Stratila: Modular theory in operator algebras, Abacus press (paragrafi 1, 2, 9, 10). (5) L. Accardi, C. Cecchini: Conditional expectations in von Neumann algebras and a theorem of Takesaki, J. Funct. Anal. 45 (1982), 245-273.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Banach algebras and C*-algebras. Spectrum and functional calculus. Positive linear functionals, states and representations; representation of Gelfand-Naimark-Segal (GNS). Structure of finite-dimensional C*-algebras. Concrete operator algebras acting on Hilbert spaces: Bicommutant Theorem by John von Neumann and von Neumann Algebras (vNA). W*-algebras, characterisation in terms of the predual: von Neumann Algebras as concrete W*-algebras. Abelian operator algebras. CLASSIFICATION of W*-ALGEBRAS: Geometry of the projections. Normal semifinite and faithful traces. Classification of the W*-algebras. TEORIA MODULARE di TOMITA: Normal faithful states, and cyclic separating vectors on a vNA: Tomita's operator S. Tomita's operator Delta and conjugation J. One-parameter groups of normal automorphisms and Kubo-Martin-Schwinger (KMS) condition, Tomita's Theorem. Normal semifinite and faithful weights: generalisation to the non sigma-finite case (shortly); Standard representation of a W*-algebra, examples: matrix algebras, the algebra of all bounded operators B(H) acting on the Hilbert space H, infinite tensor products. APPLICATIONS: Applications of the KMS condition to Quantum Statistical Mechanics. Applications to Connes' classification of type III factors (shortly). Normal faithful conditional expectations, Takesaki's existence theorem, generalisation by Accardi and Cecchini with applications to Quantum Probability (shortly).

Learning objectives. Despite wideness and complexity of the topic, the objective of the course "Operator Algebras" is to provide the basic tools (but not only) in the simplest possible way, of this fascinating matter which has allowed to explain many phenomena of modern physics and has remarkable applications to various fields of Mathematics and Physics. The final part of the course shall provide some of these stimulating applications.

Text books. (1) O. Bratteli, D. W. Robinson: Operator algebras and quantum statistical mechanics I, II, Springer (paragrafi 2.1-2.5, 5.3.1). (2) M. Takesaki: Theory of operator algebras I, Springer (paragrafi I.1-5, I.9, II.1, II.1-4, III.1-3, V.1-2). S. Stratila, L. Zsido: Lectures on von Neumann algebras, Abacus press (paragrafi 1, 3, 4, 5 e parte del 10). (4) S. Stratila: Modular theory in operator algebras, Abacus press (paragrafi 1, 2, 9, 10). (5) L. Accardi, C. Cecchini: Conditional expectations in von Neumann algebras and a theorem of Takesaki, J. Funct. Anal. 45 (1982), 245-273.

Exam mode. Oral exam

ALGORITMI E STRUTTURE DATI 2 - I Semestre - 6 CFU - settore INF/01 - 48 ore di lezione in aula

Dott. Francesco Pasquale

Programma. 1. Progettare algoritmi efficienti. Riepilogo delle tecniche più efficaci per progettare algoritmi efficienti: Greedy, Divide et Impera, Programmazione dinamica, Riduzioni.

2. Problemi computazionalmente difficili. La teoria dell'NP-completezza da un punto di vista algoritmico. Affrontare i problemi computazionalmente difficili: ricerca esaustiva, algoritmi approssimanti, euristiche. I problemi computazionalmente difficili come risorsa: il protocollo RSA e i fondamenti della crittografia a chiave pubblica. La matematica dietro le scene: Teoria dei numeri.

3. Algoritmi probabilistici. Il ruolo della "randomness" negli algoritmi: (1) progettare algoritmi più semplici; (2) progettare algoritmi più efficienti; (3) rompere la simmetria. Le tecniche per analizzare gli algoritmi probabilistici. Alcune semplici idee algoritmiche che hanno avuto un impatto significativo: i motori di ricerca e il problema del "ranking". La matematica dietro le scene: Algebra lineare e catene di Markov. Cenni ad algoritmi on-line e algoritmi che "imparano".

Obiettivi di apprendimento. Consolidare le competenze fondamentali per la progettazione e l'analisi di algoritmi efficienti. Potenziare le capacità di astrazione e "problem solving"

Testi consigliati. Sanjoy Dasgupta, Christos Papadimitriou, Umesh Vazirani Algorithms McGraw Hill, 2006 Jon Kleinberg, Eva Tardos Algorithm Design Addison Wesley, 2005.

Modalità di esame. Esame scritto e orale

In presenza di studenti stranieri l'insegnamento sarà erogato in lingua inglese

Program. 1. Design of efficient algorithms. Summary of the main techniques used in the design of efficient algorithms: Greedy, Divide and Conquer, Dynamic Programming, Reductions.

2. Computationally-hard problems. The algorithmic point of view on the theory of NP-completeness. Coping with hard problems: Exhaustive search, Approximation algorithms, Heuristics.

Hard problems as a resource: RSA protocol and fundamentals of public-key cryptography. Mathematical background: Number theory.

3. Randomized algorithms. The role of randomness in algorithms and computing: (1) design simpler algorithms; (2) make algorithms more efficient; (3) break symmetry. The main tools used in the analysis of randomized algorithms. Some simple algorithmic ideas with major impact: search engines and the "ranking" problem. Mathematical background: Linear algebra and Markov chains.

Hints at on-line and learning algorithms.

Learning objectives. Master the fundamental principles of design and analysis of efficient algorithms. Boost problem solving skills.

Text books. Sanjoy Dasgupta, Christos Papadimitriou, Umesh Vazirani Algorithms McGraw Hill, 2006 Jon Kleinberg, Eva Tardos Algorithm Design Addison Wesley, 2005.

Exam mode. Written and oral exam

ANALISI DI RETI - I Semestre - 6 CFU - settore INF/01 - 48 ore di lezione in aula

Prof. Miriam Di Ianni

Programma. Teoria dei grafi e delle reti sociali. Grafi, percorsi, connettività, distanza, ricerca; Chiusura triadica, importanza dei collegamenti deboli, struttura di rete in insiemi di grandi dimensioni, indici di centralità e partizionamenti; Omofilia e segregazione; Bilancio strutturale; Dinamiche nelle reti: modelli di popolazione. Cascate informative: il concetto "segui la massa", un modello di cascata, la regola di Bayes e le cascate; Effetti rete: economia con e senza gli effetti rete, il problema di El Farol Bar; Power Law e fenomeno rich-get-richer: la popolarità come un effetto rete, modelli rich-get-richer e la long tail; Dinamiche nelle reti: modelli strutturali. Comportamento a cascata: diffusione, cascate e cluster, il ruolo dei weak ties, capacità di una cascata; Il fenomeno Small-world: i sei gradi di separazione, modelli per lo Small-world; ricerca decentralizzata: modelli e analisi; Reti di

Informazione: il World Wide Web Struttura del Web: reti di informazione, ipertesti e memoria associativa; Link analysis e ricerca nel Web: il problema del Ranking, Hubs e Authorities, il PageRank; Istituzioni e comportamento aggregato; Meccanismi di voto: decisioni di gruppo e preferenze individuali; sistemi di voto a maggioranza e posizionale; Teorema di impossibilità di Arrow; Teorema del Voto Mediano; Voto come forma di aggregazione dell'informazione: voto sincero e non sincero, la regola dell'unanimità e il problema del verdetto della giuria; voto sequenziale e cascate informative.

Obiettivi di apprendimento. Acquisizione di competenze nella definizione di problemi relativi alla gestione di relazioni fra grandi quantità di individui e nella loro soluzione.

Testi consigliati. David Easley, Jon Kleinberg, "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World", Cambridge University Press.

Modalità di esame. Esame orale

In presenza di studenti stranieri l'insegnamento si terrà in lingua inglese

Program. Graph theory and Social networks.

Paths, connectivity, distance, search Triadic closure, the role of weak ties, clusters, centrality indices and partitioning. Structural balance. Network dynamics: Population models.

Information cascades following the crowd, a cascade model, Bayes rule and cascades. Network effects: the El Farol Bar problem. Power Law and rich-get-richer phenomena: popularity as a network effect, rich-get-richer models, the long tail. Network dynamics: structural models. Cascading behavior: diffusion, cascades and clusters, the role of weak ties, the cascade capacity. The Small-world phenomenon: six degrees of separation, models for the Small-world; decentralized search: models and analysis. Information Networks: World Wide Web. Structure of the Web: information networks, hypertext, associative memory. Link analysis and Web search: the problem of Ranking, Hubs and Authorities, PageRank. Institution and aggregate behavior. Voting: group decisions and individual preferences; voting systems: majority rule and positional voting; Arrow's impossibility theorem; Median Voter theorem. Voting as a form of information aggregation: insincere voting, Unanimity rule and Jury decisions; sequential voting and information cascades.

Learning objectives. Acquiring skills in defining problems related to managing relationships between large numbers of individuals and their solution.

Text books. David Easley, Jon Kleinberg, "Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World", Cambridge University Press.

Exam mode. Oral exam

CAM 1 - TEORIA DELLA MISURA - I Semestre - 6 CFU - settore MAT/05 - 48 ore di lezione in aula
Prof. Roberto Peirone

Programma. PARTE PRINCIPALE. Richiami sulla cardinalità. Algebre e sigma-algebre. Funzioni additive e sigma-additive di insieme. Misure e misure esterne. Misura di Lebesgue. Insiemi di Borel e insiemi Lebesgue misurabili. Proprietà della misura di Lebesgue. Misure di Radon. Funzioni misurabili e funzioni di Borel. Caratterizzazioni delle funzioni misurabili a valori reali e a valori reali estesi. Relazione tra misurabilità e continuità. Tipi di convergenza per funzioni misurabili. Integrale di Lebesgue e sue principali proprietà. Teoremi di passaggio al limite sotto il segno di integrale. Spazi L_p con teoremi principali (teorema di Lusin). Misure prodotto, teoremi di Tonelli e Fubini. Funzioni assolutamente continue e a variazione limitata e loro principali proprietà.

PARTE NON PRINCIPALE. I seguenti argomenti ed eventuali altri saranno svolti a seconda del tempo a disposizione. Maggiori dettagli saranno dati durante il corso. Derivata di Radon-Nikodym; misure

con segno, decomposizioni di Hahn e di Jordan, misure assolutamente continue. Richiami di topologia. Cenni di analisi funzionale. Funzionali lineari positivi su $Cc(X)$, teorema di rappresentazione di Riesz. Approssimazione di funzioni in L_p con funzioni lisce tramite mollificatori.

Obiettivi di apprendimento. Gli studenti dovrebbero imparare gli argomenti fondamentali della teoria della misura e dell'integrazione. Sarà considerato importante, in particolare per l'esame, che lo studente sappia maneggiare effettivamente gli argomenti, piuttosto che sappia ripetere ed esporre bene. Sarà considerato importante che lo studente abbia confidenza coi prerequisiti fondamentali.

Testi consigliati. Sono ancora da stabilire. Ricordo quelli consigliati nel corso tenuto nell'anno 2017/18 da un altro docente: H. Royden, Real Analysis; W. Rudin, Real and Complex Analysis

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. MAIN PART. Recalls on cardinality. Algebras e sigma-algebras. Additive and sigma-additive set functions. Measures and exterior measures. Lebesgue measures. Borel sets and Lebesgue measurable sets. Properties of Lebesgue measure. Radon Measures. Measurable functions and Borel functions. Characterization of measurable functions with real values and with extended real values. Relation between measurability and continuity. Kinds of convergence of measurable functions. Lebesgue integral and its main properties. Theorems about passage of limit under integrals sign. L_p spaces and main theorems (Lusin Theorem). Product measures, Tonelli and Fubini theorems. Absolutely continuous and bounded variation functions, and their main properties.

NON-MAIN PART. The following topics and possible other topic will be discussed depending on the available time. Further details will be given during the course. Radon-Nikodym derivative; signed measures, Hahn and Jordan decompositions, absolutely continuous measures. Recalls of general topology. Hints of functional analysis. Positive linear functionals on $Cc(X)$, Riesz Representation Theorem. Approximations of functions in L_p by smooth functions, using mollifiers.

Learning objectives. Students should learn the fundamental topics in measure and integration theory. It will be considered important, especially for the exam, that students can really work about the topics rather than that they can repeat correctly the results and expose them well. It will be considered important that students have a good familiarity with fundamental preliminaries.

Text books. Still to decide. I recall that in the course given in 2017/18 by another professor, the following text books were indicated: H. Royden, Real Analysis; W. Rudin, Real and Complex Analysis

Exam mode. Written and oral exam

CAM 2 - INTRODUZIONE ALL'ANALISI FUNZIONALE – II Semestre - 6 CFU - settore MAT/05 - 48 ore di lezione in aula

Prof. Daniele Guido

Programma. SPAZI DI BANACH: Definizioni ed esempi, Spazi normati finito-dimensionali, Operatori limitati su uno spazio normato, Spazio duale ed esempi, Quozienti e somme dirette di spazi normati e loro duali, Teorema di Hahn-Banach e conseguenze. SPAZI DI HILBERT: Basi ortonormali ed esempi, Sistema trigonometrico e serie di Fourier in $L_2(T)$. SPAZI VETTORIALI TOPOLOGICI E TOPOLOGIE DEBOLI: Topologia debole e topologia *debole, Teorema di Banach-Alaoglu. OPERATORI LINEARI CONTINUI TRA SPAZI DI BANACH: Principio dell'uniforme limitatezza: Teorema dell'applicazione aperta, e teorema del grafico chiuso: Operatori limitati su uno spazio di Hilbert: Operatore aggiunto. TEORIA SPETTRALE E OPERATORI COMPATTI: Spettro di un operatore: Operatori compatti e operatori di rango finito, Teoria di Riesz-Schauder e teorema dell'alternativa di Fredholm, Teorema spettrale per operatori compatti autoaggiunti.

Obiettivi di apprendimento. Il corso si propone di illustrare alcuni concetti base dell'analisi funzionale. 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. J. B. Conway - A course in functional analysis (1990,2ed), Springer, New York; M. Reed, B. Simon - Methods of Modern Mathematical Physics 1 (1980,2ed), Academic Press, San Diego

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. BANACH SPACES: Definitions and examples, Finite-dimensional vector spaces, Bounded Operators on normed spaces, Dual Space, examples, Quotients and direct sums of normed spaces, dual space, Hahn-Banach theorem and its main consequences. HILBERT SPACES: Orthonormal bases, examples, Trigonometric system and Fourier series in $L_2(T)$. TOPOLOGICAL VECTOR SPACES AND WEAK TOPOLOGIES: Weak and weak*-topologies, Banach-Alaoglu theorem. BOUNDED LINEAR OPERATORS ON BANACH SPACES: Uniform boundedness principle, Open mapping theorem and closed graph theorem, Bounded operators on Hilbert spaces, Adjoint of an operator. SPECTRAL THEORY AND COMPACT OPERATORS: Spectrum of an operator, Compact operators and finite rank operators, Riesz-Schauder theory and Fredholm alternative, Spectral theorem for compact self-adjoint operators.

Learning objectives. In this course we intend to illustrate some basic concepts of functional analysis. The goal is to allow students to critically elaborate on such concepts, and to be able to solve, in a rigorous way, the problems proposed in the course.

Text books. J. B. Conway - A course in functional analysis (1990, 2ed), Springer, New York; M. Reed, B. Simon - Methods of Modern Mathematical Physics 1 (1980, 2ed), Academic Press, San Diego

Exam mode. Written and oral exam

CODIFICA E COMPRESSIONE DI SEGNALI ED IMMAGINI - II Semestre - 8 CFU - settore INF/01 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Domenico Vitulano

Programma. Motivazione e richiami storici sulla compressione, Classificazione delle tecniche di compressione, Parametri utili per la compressione, Concetto di entropia e definizione di entropia in Teoria dell'informazione, Proprietà matematiche dell'entropia, Entropia congiunta, entropia condizionata, chain rule e loro proprietà matematiche, Legame tra entropia e compressione, Definizione e proprietà matematiche della distanza di Kullback-Leibler, Definizione e proprietà matematiche della mutua informazione, Codici a lunghezza variabile, Codici non singolari, univocamente decodificabili e istantanei, Disuguaglianza di Kraft e disuguaglianza estesa di Kraft, Cenni sui moltiplicatori di Lagrange, Primo teorema di Shannon (Noiseless source coding theorem), Definizione di distribuzione di probabilità diadica; Primo teorema di Shannon per un processo stocastico stazionario; Teorema di McMillan; Ottimalità del codice di Shannon e teoremi annessi; Definizione di efficienza e ridondanza di un codice; Codice di Fano-Shannon ed esempi; Relazione tra entropia di una sorgente e il suo alfabeto; Teorema dell'independence bound dell'entropia; Codice di Huffman, esempi, proprietà e implementazione in matlab; Alberi a minima varianza; Ottimalità: Huffman versus Shannon; Ottimalità del codice di Huffman; Varianti al codice di Huffman: Huffman troncato; Binary shift code, Huffman shift; Arithmetic coding: definizione, proprietà, ottimalità ed esempi; Cenni sull'implementazione dell'arithmetic coding a precisione finita; Cenni sulla codifica universale: codice FGK; Proprietà di sibling di un albero e Teorema di Gallager; Conseguenze del teorema di Gallager; Huffman adattivo a tabella; Cenni sul codice di Vitter; Dictionary coding; LZ77,

ottimalità di LZ77, LZ78 e LZW; Teoria della complessità di Kolmogorov; Teoremi sul legame tra la complessità di Kolmogorov e entropia; Definizione e teoremi sulla probabilità universale; Teoremi sul legame tra probabilità universale e complessità di Kolmogorov; Cenni su trasformate tempo-frequenza e loro applicazioni nella elaborazione di segnali e immagini; Cenni su: Trasformata di Fourier, Short time Fourier Transform, Trasformata wavelet continua; Trasformata Wavelet discreta, Trasformata wavelet 2D, e loro applicazioni con esempi in matlab; Codifica irreversibile per trasformata; Quantizzazione scalare e vettoriale; Definizione, proprietà ed esempi di quantizzazione scalare; Teoria dell'high bit rate coding; Entropia differenziale e proprietà; Disuguaglianza di Jensen e sue conseguenze; Bit allocation ottima con e senza trasformata; Distorsione pesata; Cenni sulla quantizzazione non uniforme; Compandor e teorema di esistenza di un compandor; Mu-law e A-law; Cenni sullo standard G-711; Definizione di significance map; Definizione di space filling curve: Peano e Hilbert; Run-length 1-D e 2-D; Curva rate-distortion in ipotesi di alta risoluzione; Teoria della low bit rate coding; Teorema sul legame tra il decadimento dello spettro di Fourier e regolarità di Lipschitz; Teoremi sul legame tra il decadimento (in scala) del modulo dei coefficienti wavelet e regolarità locale di Lipschitz; Proprietà di sparsità di una base; Soft e hard thresholding; Curva rate-distortion per funzioni in spazi di Besov; Teorema di Falzon-Mallat; Cenni sulle basi adattive; Matching pursuit; Base di Karhunen-Loeve e diagonalizzazione della matrice di covarianza; Codifica JPEG e implementazione in matlab; Codifica zero-tree; Codifica JPEG2000; Metodo dei minimi quadrati: caso lineare, caso generale (metodo di Gauss) ed esempi in matlab; Cenni su spazi metrici e funzioni contrattive; Teorema delle contrazioni; Definizione e proprietà della distanza di Hausdorff e dello spazio dei frattali; Teorema sulla completezza dello spazio dei frattali; Teoria dei sistemi di funzioni iterate: teoremi, esempi e prove in matlab di funzioni frattali; Teoria dei partitioned iterated functions systems; Codifica frattale; Cenni sulla codifica video; Codifica MPEG1; Cenni sulla stima del movimento; Block matching ed esempi in matlab, Phase correlation ed esempi in matlab; Linear prediction coding: codifica lossless, lossy e delta modulation.

Obiettivi di apprendimento. L'obiettivo del corso è quello di fornire una panoramica dei principi teorici e dei metodi di codifica di segnali, immagini e video. Particolare attenzione sarà rivolta allo sviluppo di algoritmi relativi ai più noti standard di codifica e alla relativa implementazione in matlab.

Testi consigliati. T. M. Cover, J. A. Thomas, Elements of Information Theory, John Wiley & Sons; D. Salomon, Data Compression, Springer; R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall; S. Mallat, A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic Press.

Modalità di esame. L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale. La prova scritta sarà di norma costituita da 5 esercizi riguardanti sia gli aspetti teorici che quelli pratici dei metodi di codifica.

Program. Motivation and history of data compression, Classification of coding techniques, Some useful parameters for compression, Definition of entropy in Information Theory, Mathematical properties of entropy, Joint entropy, conditional entropy, chain rule and their mathematical properties, Link between entropy and compression, Definition and properties of Kullback-Leibler divergence, Definition and properties of mutual information, Variable length codes, Non singular, uniquely decodable and instantaneous codes, Kraft inequality and extended Kraft inequality, Basic notions about Lagrange Multipliers, (Shannon) Noiseless source coding theorem, Noiseless source coding theorem for a stationary stochastic process, McMillan Theorem, Optimality of Shannon code and some related theorems, Definition of code efficiency and code redundancy, Fano-Shannon code and some examples, Link between source entropy and its alphabet, Theorem of entropy independence bound, Huffman code and examples (matlab), Minimal variance trees, Optimality: Huffman versus Shannon, Optimality of Huffman code, Some variants to Huffman code: truncated Huffman, Binary shift code, Huffman shift,

Arithmetic coding: definition, properties and optimality, Basic notions about finite precision arithmetic coding, Basic notions about universal coding: FGK, Tree sibling property and Gallager theory, Adaptive Huffman (table), Basic notions on Vitter code, Dictionary coding, LZ77, optimality of LZ77, LZ78 and LZW, Kolmogorov complexity theory, Some theorems on the link between Kolmogorov complexity and entropy, Definition and theorems on universal probability, Theorems on link between universal probability and Kolmogorov complexity, Basic notions on time-frequency transforms and their applications to signal processing, Basic notions on: Fourier Transforms, Short time Fourier Transform, Continuous wavelet transform, Discrete wavelet transform, 2D Wavelet Transform, their applications and examples in matlab, Transform lossy coding, Scalar and vectorial transform, Definition, properties and examples of scalar quantization, High bit rate coding theory, Differential entropy and its properties, Jensen inequality, Optimal bit allocation with or without transform, Weighted distortion, Basic notions on non uniform quantization, Compandor: existence theorem, Mu-law and A-law, Basic notions on G-711 standard, Definition of significance map, Definition of space filling curve: Peano and Hilbert examples, 1-D and 2-D Run-length, Rate-distortion curve under high bit rate coding hypothesis, Low bit rate coding theory, Theorems on Fourier coefficients decay and Lipschitz local regularity, Theorems on wavelet coefficients decay and Lipschitz local regularity, Basis sparsity, Soft and hard thresholding, Rate-distortion curve for functions belonging to Besov spaces, Falzon-Mallat theorem, Basic notions on adaptive bases, Matching pursuit, Karhunen-Loeve basis and diagonalization of covariance matrix, JPEG (and matlab implementation), Zero-tree coding, JPEG2000, Least squares method: linear case, general case (Gauss method) and examples in matlab, Basic notions of metric spaces and contractive functions, Banach theorem, Definition and property of Hausdorff distance and space of fractals, Theorem of completeness of space of fractals, Iterated functions systems theory: Theorems, examples and tests in matlab, Partitioned iterated functions systems theory, Fractal coding, Basic notions about Video coding, MPEG1, Basic notions about motion estimation, Block matching and examples in matlab, Phase correlation and examples in matlab, Linear prediction coding: codifica lossless coding, lossy and delta modulation.

Learning objectives. This course provides the basic knowledge of theory and methods for signal, image and video coding. Particular attention will be devoted to the basic coding algorithms and their Matlab implementation.

Text books. T. M. Cover, J. A Thomas, Elements of Information Theory, John Wiley & Sons; D. Salomon, Data Compression, Springer; R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall; S. Mallat, A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic Press.

Exam mode. The final exam consists of written and oral examinations. The written examination consists of 5 exercises concerning both theoretical and practical aspects of coding methods.

CAN 1 - MODELLIZZAZIONE GEOMETRICA E SIMULAZIONE NUMERICA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/08 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Carla Manni

Programma. Il corso fornisce un'introduzione alla costruzione ed alle proprietà delle funzioni spline nonché al loro utilizzo nell'ambito della grafica computerizzata, della progettazione del trattamento numerico di equazioni differenziali alle derivate parziali. Argomenti: Polinomi di Bernstein e curve di Bézier. B-spline: costruzione, proprietà analitiche e geometriche. Totale positività e sue conseguenze. Curve e superfici B-spline. Curve e superfici NURBS. Proprietà di approssimazione di spazi spline. Trattamento di problemi ellittici multidimensionali: fondamenti del metodo degli elementi finiti e

dell'analisi isogeometrica.

Obiettivi di apprendimento. Conoscenza di base delle funzioni splines e di alcune loro applicazioni salienti.

Testi consigliati. Saranno distribuite dispense complete redatte dal docente; C. de Boor, A practical Guide to Splines, Springer 2001.

Modalità di esame. Prova orale

Program. The course provides an introduction to spline functions and to their use in geometric modeling and numerical treatment of partial differential equations.

Contents: Bernstein polynomials and Bezier curves. B-splines: definition and analytic properties. Geometric properties of B-splines. NURBS. Approximation properties of splines. Total positivity. Optimal bases. Tensor-product splines. Applications in the context numerical treatment of multivariate elliptic problems.

Learning objectives. The course provides an introduction to construction and main properties of B-splines both from the analytic and geometric point of view. These functions are the key mathematical tools in several application fields ranging from Computer Graphics to the numerical treatment of PDEs (Isogeometric Analysis).

Text books. C. de Boor, A practical Guide to Splines, Springer 2001.

Exam mode. Oral exam

CAN 2 - COMPLEMENTI DI ANALISI NUMERICA 2 - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/08 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Daniele Bertaccini

Programma. Note su analisi dell'errore, Matrici sparse, Calcolo parallelo e accelerazione hardware, tecniche di proiezione. Metodi iterativi di tipo Krylov, proiezioni ortogonali: CG e GMRES BiCG, CGS, BiCGStab and BiCGStab(2). Metodi iterativi di tipo Krylov per iterazioni preconditionate. Flexible GMRES (FGMRES). Precondizionatori e fattorizzazioni incomplete. Precondizionatori inversi approssimati. Precondizionare successioni di sistemi lineari. Precondizionatori per alcuni sistemi lineari strutturati. Applicazione alla soluzione di modelli basati su PDE dall'immagine processing, dalle scienze biomediche sciences e ingegneria.

Obiettivi di apprendimento. Introduzione rigorosa a metodi iterativi per problemi di algebra lineare numerica di grandi dimensioni (sistemi di equazioni lineari algebriche di grandi dimensioni e problemi agli autovalori e generalizzazioni). Applicazioni alle equazioni alle derivate parziali con particolare riferimento agli schemi alle differenze finite per problemi di evoluzione. In particolare si studieranno: metodi proiettivi con particolare attenzione ai metodi di Krylov, preconditionatori basati, sistemi lineari con matrici grandi con struttura o localizzate. Analisi di convergenza dei metodi e indicazioni sulla costruzione degli algoritmi. Verranno considerati con particolare attenzione aspetti quali *qualità dell'approssimazione e stabilità degli algoritmi, *approssimazione delle soluzioni dei problemi discreti generati dagli schemi che verranno trattati. Prerequisiti: corso di Analisi Numerica/Calcolo Numerico. Il corso è indipendente da CAN1.

Testi consigliati. Iterative Methods and Preconditioning for Large and Sparse Linear Systems with Applications, Daniele Bertaccini, Fabio Durastante Chapman and Hall/CRC, ISBN 9781498764162 Series: Chapman & Hall/CRC Monographs and Research Notes in Mathematics.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Sparse matrices, parallel computing and hardware acceleration, projection techniques,

Krylov iterative methods, orthogonal projections: CG and GMRES, BiCG, CGS, BiCGStab and BiCGStab(2), Krylov iterative methods for preconditioned iterations, Flexible GMRES (FGMRES), Incomplete factorizations preconditioners, Approximate Inverse Preconditioners, Preconditioning sequences of linear systems, Preconditioners for some structured linear systems, applications to the solution of PDE models from image processing, biomedical sciences and engineering.

Learning objectives. Rigorous introduction to numerical methods for linear algebra (solution of large linear systems and eigenvalue problems and generalizations). Application to the solution of PDE models, in particular to finite difference schemes for evolutionary problems. In particular, it will be considered: projective methods with particular attention to Krylov methods, preconditioners based on incomplete factorizations and in inverse approximate form, linear systems with large structured or localized matrices, convergence analysis of the methods and notes on the algorithms implementation. Particular attention will be devoted to aspects such as *approximation and stability of the algorithms, *Approximation of the solutions of the discrete problems. Prerequisites: a basic course in Numerical Analysis and Numerical Analysis, differential calculus in more 'variables, Mathematical Physics. The course is independent from CAN1.

Text books. Iterative Methods and Preconditioning for Large and Sparse Linear Systems with Applications, Daniele Bertaccini, Fabio Durastante Chapman and Hall/CRC, ISBN 9781498764162 Series: Chapman & Hall/CRC Monographs and Research Notes in Mathematics.

Exam mode. Oral exam

CHIMICA GENERALE - I Semestre - 8 CFU - CHIM/03 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Susanna Piccirillo

Programma. La struttura dell'atomo. Sistema periodico degli elementi. Legame chimico (ionico, covalente, metallico). Forze intermolecolari e legame a idrogeno. Stato della materia. Rapporti ponderali nelle reazioni chimiche. Numero di ossidazione. Bilanciamento delle reazioni chimiche. Termodinamica. Funzioni di stato. Equilibri tra fasi. Equilibri chimici omogenei ed eterogenei. La costante di equilibrio termodinamico. Equilibri di solubilità. Dissociazione elettrolitica. Soluzioni e proprietà colligative. Equilibri acido-base in soluzione acquosa: pH, idrolisi, soluzioni tampone, indicatori. Sistemi ossidoriduttivi: potenziali elettrodi, pile, equazione di Nernst, elettrolisi, legge di Faraday.

Obiettivi di apprendimento. Apprendimento dei principi basilari della Chimica, in termini di conoscenza delle proprietà generali degli elementi, dei legami che definiscono la struttura dei composti e delle leggi fondamentali che ne regolano le trasformazioni chimiche e fisiche. Esercitazioni pratiche volte alla comprensione dei concetti esposti durante le lezioni frontali.

Testi consigliati. I. Bertini, C. Luchinat, F. Mani, "Chimica", Casa editrice Ambrosiana; P. W. Atkins, L. Jones "Principi di Chimica", Casa Editrice Zanichelli; M. Speranza "Chimica Generale e Inorganica" EdiErmes.

Modalità di esame. Prova scritta e prova orale

In presenza di studenti stranieri l'insegnamento sarà erogato in lingua inglese

Program. Atomic structure. Periodic table of the elements. Chemical bonding (ionic, covalent, metallic). Intermolecular forces and hydrogen bonding. State of matter. Weight relations in chemical reactions. Oxidation number. Balance of chemical reactions. Thermodynamics. State functions.

Equilibrium between phases. Homogeneous and heterogeneous chemical equilibria. The thermodynamic equilibrium constant. Solubility equilibria. Electrolytic dissociation. Solutions and colligative properties. Acid-base equilibria in aqueous solution: pH, hydrolysis, buffer solutions, indicators. Redox systems: electrode potentials, batteries, Nernst equation, electrolysis, Faraday's law

Learning objectives. Knowledge of the basic concepts and principles of chemistry, as concerns the comprehension of the general properties of the elements, of the chemical bonding defining compounds structure and of the fundamental laws that govern chemical and physical transformation of matter. Practical exercises aimed to a deeper understanding of the concepts presented during the lectures.

Text books. I. Bertini, C. Luchinat, F. Mani, "Chimica", Casa editrice Ambrosiana; P. W. Atkins, L. Jones "Principi di Chimica", Casa Editrice Zanichelli; M. Speranza "Chimica Generale e Inorganica" EdiErmes.

Exam mode. Written exam.

COMPLEMENTI DI FISICA - I Semestre - 8 CFU – settore FIS/01 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Vittorio Merlo

Programma. Fondamenti della meccanica statistica classica. Teoria degli ensemble, teorema di Liouville. Ensemble microcanonico, funzioni termodinamiche, gas perfetto, paradosso di Gibbs. Ensemble canonico e gran canonico, funzioni di partizione, applicazioni elementari; gas perfetto, fluttuazioni dell'energia, equipartizione, paramagnetismo classico, gas di Van der Waals. Postulati della meccanica quantistica. Equazione di Schroedinger, proprietà generali: stati stazionari, proprietà nel caso 1-dimensionale, sistema a due stati, barriere e buche di potenziale, effetto tunnel. Oscillatore armonico lineare. Momento angolare. Equazione di Schroedinger in coordinate sferiche: moto in un campo centrale, atomo di idrogeno, formula di Bohr. Spin: matrici di Pauli, elettrone in un campo magnetico, esperimento di Stern e Gerlach. Teoria delle perturbazioni. Metodo variazionale. Struttura fine dell'atomo di idrogeno, interazione spin orbita. Particelle identiche. Gas quantistici e loro proprietà; statistica di Fermi-Dirac e Bose-Einstein. Gas di Fermi degenere e quasi-degenere, funzioni termodinamiche. Gas di Bose: radiazione di corpo nero, condensazione di Bose.

Obiettivi di apprendimento. Acquisire le conoscenze di base di meccanica statistica e quantistica in modo da poter affrontare la soluzione di problemi di fisica moderna.

Testi consigliati. I testi saranno comunicati dal docente all'inizio del corso.

Modalità di esame. L'esame consiste in una prova scritta di screening su argomenti svolti durante il corso, al superamento della quale lo studente espone una tesina orale concordata con il docente e avente come oggetto un nuovo argomento di interesse per lo studente.

Program. Fundamentals of classical statistical mechanics. Liouville theorem, ensemble theory. The microcanonical ensemble, thermodynamics, Gibbs paradox. Canonical and grand canonical ensembles, partition function, elementary examples: energy fluctuations, equipartition, classical paramagnetism, the van der Waals gas. The postulates of quantum mechanics. The Schroedinger equation, classical limit, probability conservation, stationary states; properties in 1-dim, the two-state system, the infinite square well, the delta function potential, the finite square well, the symmetrical potential barrier, reflection and transmission coefficients, tunnelling. The linear harmonic oscillator. Angular momentum. The Schroedinger equation in spherical coordinates, separation of variables, the radial equation; motion in a central field, the Hydrogen atom, level spacing according to Bohr. Spin: commutation relations, eigenstates; electron spin, Pauli matrices; the electron in a magnetic field, precession, quantum description of the Stern-Gerlach experiment. Time-independent perturbation theory. Fine structure of

the hydrogen atom, relativistic mass correction, spin-orbit correction. The variational principle and some elementary applications. Basic notions of the atomic structure, hydrogen-like atoms; identical particles, bosons and fermions, exchange forces. Quantum gases, Fermi-Dirac and Bose-Einstein statistics. Degenerate and quasi-degenerate Fermi gas, thermodynamics. Bose gas: Black body radiation, Bose-Einstein condensation.

Learning objectives. The course is tailored to offer an essential knowledge of both statistical and quantum mechanics, intended to tackle more advanced problems in modern physics.

Text books. All the information will be given at the beginning of the course.

Exam mode. First comes a screening written test based on the topics covered during the term; then an oral exam takes place, where the student is required to discuss a new subject previously agreed upon.

COMPLEMENTI DI PROBABILITÀ(CP) - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/06 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Antonella Calzolari

Programma. Spazi di probabilità astratti. Indipendenza. Legge 0-1 di Kolmogorov. Lemma di Borel-Cantelli. Convergenza quasi certa e in probabilità. Legge dei grandi numeri. Funzioni caratteristiche. Convergenza debole. Aspettazione condizionale. Martingale a tempo discreto.

Obiettivi di apprendimento. Due sono gli obiettivi: insegnare come entra la teoria della misura nei fondamenti del Calcolo delle Probabilità e introdurre allo studio delle martingale.

Testi consigliati. Probability with martingales, D.Williams; Probability and measure, P.Billingsley

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. Probability spaces. Independence. Kolmogorov's 0-1 law. Borel-Cantelli Lemma. Almost sure convergence and convergence in probability. Law of large numbers. Characteristic functions. Weak convergence. Conditional expectation. Martingales in discrete time.

Learning objectives. The teaching aims to show how measure theory applies to set the basis of Probability Theory and to introduce to martingale theory.

Text books. Probability with martingales, D.Williams; Probability and measure, P.Billingsley

Exam mode. Written and oral exam

COMPLEMENTI DI TOPOLOGIA ALGEBRICA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/03 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Michael McQuillan

Programma. Il corso prenderà il punto di vista etale, cioè che l'omotopia in grado al meno n e una descrizione minimale di un n -categoria sono cose sinonime. Il corso concentrerà sui casi $n \leq 2$ cioè insieme ($n=0$), groupoide ($n=1$), e 2-categorie di groupoide ($n=2$). La teoria sviluppata sarà valida in qualsiasi sito e così faremo vari esempi sia nella topologia classica sia nella topologia etale delle varietà algebriche e i campi di numeri.

Obiettivi di apprendimento. Impara matematica.

Testi consigliati. "Elementary topology of champs", <https://arxiv.org/pdf/1507.00797>

Modalità di esame. Prova orale

Program. The course will take the etale point of view that homotopy n -types and a minimal description of n -categories are synonymous. The course will concentrate on $n \leq 2$, {i.e.} sets ($n=0$), groupoids ($n=1$), and 2-categories of groupoids ($n=2$).

The theory will be developed in an arbitrary site, and as such will be equally applicable in both classical topology and the étale topology of algebraic varieties and number fields.

Learning objectives. To learn mathematics.

Text books. “Elementary topology of champs”, <https://arxiv.org/pdf/1507.00797>

Exam mode. Oral exam

EAM 1 - TEORIA SPETTRALE - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/05 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Roberto Longo

Programma. 1. Prerequisiti. Spazi di Banach, duale e topologia forte, debole e *-debole. Principio dell'uniforme limitatezza. Funzioni analitiche a valori spazi di Banach. Teorema di Tychonoff. Teorema di Alaoglu. 2. Algebre di Banach. Insieme risolvente e spettro di un elemento. Teorema di Mazur. Analicità del risolvente. Lo spettro di un elemento è compatto non-vuoto. Analicità del risolvente e serie di Neumann. Formula del raggio spettrale. 3. Algebre di Banach commutative. Ideali massimali. Caratteri e spettro di un'algebra di Banach commutative. Caso di un'algebra con identità generata da un elemento o da un numero finito di elementi, spettro congiunto. Teorema dello spectral mapping per polinomi. Spettro di un elemento in una sottoalgebra abeliana massimale o minimale. 4. Calcolo funzionale analitico. Teorema dello spectral mapping per funzioni analitiche. Caso di spettro disconnesso. Perturbazioni dello spettro, semicontinuità inferiore, esempi. Perturbazioni di proiettori. 5. Trasformazione di Gelfand. Elementi nilpotenti generalizzati. Caso dell'algebra $l_1(\mathbb{Z})$. Teorema dello spectral mapping per funzioni analitiche. 6. Algebre C^* . Algebre involutive e norme C^* . Lo spettro di un elemento autoaggiunto è reale; il raggio spettrale coincide con la norma. Lo spettro non dipende dalla sottoalgebra. 7. C^* -algebre commutative. Teorema di Gelfand-Naimark. Calcolo funzionale continuo. La categoria delle C^* -algebre abeliane con identità è duale alla categoria degli spazi compatti di Hausdorff. 8. Calcolo funzionale Boreliano. Il teorema spettrale per operatori autoaggiunti su uno spazio di Hilbert. Misure basiche e calcolo funzionale L^∞ . 9. Algebre di von Neumann. Teoremi di densità di von Neumann e di Kaplanski. Topologia debole e forte. Compattezza debole della palla unitaria. Algebre abeliane massimali e loro caratterizzazione su uno spazio di Hilbert separabile. 10. Stati e rappresentazioni di una C^* -algebra. Elementi positive, estensione di stati. La rappresentazione GNS. Caso dell'algebra $C(X)$. Operatori di allacciamento, sotto-rappresentazioni, rappresentazioni equivalenti e rappresentazioni disgiunte. Caso commutativo. 11. Il teorema di molteplicità spettrale. Rappresentazioni cicliche e rappresentazioni senza molteplicità (spazio di Hilbert separabile) di una C^* -algebra abeliana. Classificazione degli operatori autoaggiunti (o di rappresentazioni di una C^* -algebra abeliana) su uno spazio di Hilbert separabile. 12. Operatori illimitati. Operatori chiusi, chiudibili, aggiunti. Operatori simmetrici e autoaggiunti. Estensione di operatori simmetrici e trasformata di Cayley. Il problema dei momenti.

Obiettivi di apprendimento. Lo studente dovrà capire la struttura degli operatori lineari autoaggiunti e normali su uno spazio di Hilbert padroneggiando tecniche analitiche e algebriche.

Testi consigliati. G. Pedersen, Analysis Now; W. Arveson, An Invitation to C^* -Algebras; J.B. Conway - A Course in Functional Analysis

Modalità di esame. Prova orale

Program. 1. Prerequisites. Banach spaces, dual space, strong, weak and weak* topology. Uniform boundedness principle. Analytic functions with values in a Banach space. Tychonoff theorem. Alaoglu theorem. 2. Banach algebras. Resolvent set and spectrum of an element. Mazur theorem. Analyticity of

the resolvent. The spectrum of an element is compact non-empty. Neumann series. Formula of the spectral radius. 3. Commutative Banach algebras. Maximal ideals. Characters and spectrum of a commutative Banach algebra. Case of an algebra with identity generated by an element or by finitely many of elements, joint spectrum. The spectral mapping theorem for polynomials. Spectrum of an element in a minimal or maximal Abelian subalgebra. 4. Analytic functional calculus. The spectral mapping theorem for analytic functions. Disconnected spectrum case. Perturbations of the spectrum, lower semicontinuity, examples. Perturbations of projectors. 5. Gelfand transformation. Generalized nilpotent elements. Case of the $l^1(\mathbb{Z})$ algebra. The spectral mapping theorem for analytic functions. 6. C^* -algebras. Involutive algebras and C^* norms. The spectrum of a self-adjoint element is real; the spectral radius coincides with the norm. The spectrum does not depend on C^* subalgebra. 7. Commutative C^* -algebras. Gelfand-Naimark theorem. Continuous functional calculus. The category of Abelian C^* -algebras with identity is dual to the category of compact Hausdorff spaces. 8. Borel functional calculus. The spectral theorem for self-adjoint operators on a Hilbert space. Basic measures and L^∞ functional calculation. 9. von Neumann algebras. Density theorems of von Neumann and Kaplanski. Weak and strong operator topology. Weak compactness of the unit ball. Maximal Abelian subalgebras and their characterization on a separable Hilbert space. 10. States and representations of a C^* -algebra. Positive elements, extension of states. The GNS representation. Case of the algebra $C(X)$. Intertwining operators, subrepresentations, equivalent representations and disjoint representations. Commutative case. 11. The spectral multiplicity theorem. Cyclic representations and multiplicity free representations (separable Hilbert space) of an Abelian C^* -algebra. Classification of self-adjoint operators (or representations of an Abelian C^* -algebra) on a separable Hilbert space. 12. Unbounded Operators. Closed operators, closable operators, adjoints. Symmetric and self-adjoint operators. Extensions of symmetric operators and Cayley transformation. The moment problem.

Learning objectives. The student will understand the structure of the linear, self-adjoint and normal operators on a Hilbert space by learning analytical and algebraic techniques.

Text books. G. Pedersen, Analysis Now; W. Arveson, An Invitation to C^* -Algebras; J.B. Conway - A Course in Functional Analysis

Exam mode. Oral exam

EAM 2 - SPAZI DI SOBOLEV E SOLUZIONI DEBOLI - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/05 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Piermarco Cannarsa

Programma. Distribuzioni. Spazi di Sobolev. Disuguaglianze di Sobolev-Gagliardo-Nirenberg e di Morrey. Teorema di Rellich. Disuguaglianze di Poincaré. Lemma di Lax-Milgram. Formulazione variazionale dei problemi ai limiti ellittici mediante gli spazi di Sobolev: esistenza, unicità e regolarità delle soluzioni deboli. Principi di massimo. Teoria spettrale per il problema di Dirichlet. Semigruppì di operatori lineari e continui su spazi di Banach. Generatore infinitesimale. Teorema di Hille-Yosida. Semigruppì di contrazione e semigruppì compatti. Teoremi di perturbazione. Comportamento asintotico. Problema di Cauchy. Regolarità massimale. Applicazione alle equazioni del calore, delle onde e di Schrödinger.

Obiettivi di apprendimento. Acquisire familiarità con i metodi moderni per lo studio delle equazioni differenziali alle derivate parziali lineari, utilizzando nozioni di funzioni generalizzate e tecniche di analisi funzionale. La comprensione di tali concetti, metodi e teorie, permetterà di affrontare anche contesti potenzialmente differenti da quelli visti a lezione.

Testi consigliati. H. Brezis, Functional analysis, Sobolev spaces and partial differential equations. Springer, New York, 2011. L.C. Evans, Partial differential equations. Second edition. American Mathematical Society, Providence, RI, 2010. A. Pazy, Semigroups of linear operators and applications to partial differential equations. Springer-Verlag, New York, 1983.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Distributions. Sobolev spaces. The Sobolev-Gagliardo-Nirenberg and Morrey inequalities. Rellich's theorem. Poincaré's inequality. The Lax-Milgram lemma. Variational formulation of elliptic boundary-value problems: existence, uniqueness, and regularity of weak solutions. Spectral theory for the Dirichlet problem. Semigroups of bounded linear operators on Banach spaces. Infinitesimal generator. The Hille-Yosida theorem. Contraction semigroups and compact semigroups. Perturbation theorems. Asymptotic behaviour. Solution of the Cauchy problem. Maximal regularity. Application to the heat, wave, and Schrodinger equation.

Learning objectives. To get familiar with modern methods for the study of linear partial differential equations, using generalized notions of function and functional analytic techniques. The comprehension of such concepts, methods, and theories will enable students to solve problems even in different contexts from those analyzed in class.

Text books. H. Brezis, Functional analysis, Sobolev spaces and partial differential equations. Springer, New York, 2011. L.C. Evans, Partial differential equations. Second edition. American Mathematical Society, Providence, RI, 2010. A. Pazy, Semigroups of linear operators and applications to partial differential equations. Springer-Verlag, New York, 1983.

Exam mode. Oral exam

ELEMENTI DI ANALISI NUMERICA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/08 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Carmine Di Fiore

Programma. Polinomi e numeri di Bernoulli, la formula di Eulero-Mclaurin, tecniche di estrapolazione di Romberg. Metodi per il calcolo degli autovalori e degli autovettori di una matrice, la teoria di Perron-Frobenius per le matrici non negative, il problema del calcolo dell'autovettore pagerank, il metodo delle potenze. Algebre di matrici di bassa complessità e applicazioni. Risoluzione numerica di problemi differenziali ordinari e a derivate parziali, il metodo delle differenze finite. Per tutti questi argomenti si approfondiscono sia gli aspetti matematici che quelli algoritmici. (Per un programma più dettagliato si veda www.mat.uniroma2.it/~difiore).

Obiettivi di apprendimento. Completamento di alcune conoscenze di base sull'analisi numerica, con approfondimento di argomenti particolari.

Testi consigliati. D. Bertaccini, C. Di Fiore, P. Zellini, Complessità e Iterazione - percorsi, matrici e algoritmi veloci nel calcolo numerico, Bollati Boringhieri, Torino, 2013.

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. Bernoulli polynomials and numbers, Eulero-Mclaurin formula, Romberg extrapolation techniques. Methods for the computation of the eigenvalues and eigenvectors of a matrix, Perron-Frobenius theory for non-negative matrices, computing the pagerank eigenvector, the power method. Low complexity matrix algebras and applications. Numerical solution of ordinary and partial differential problems, the finite difference method. For all these subjects both mathematical and algorithmic aspects are investigated. (For a more detailed program see www.mat.uniroma2.it/~difiore)

Learning objectives. Complete some of the basic knowledges on the Numerical Analysis,

investigating some particular subjects.

Text books. D. Bertaccini, C. Di Fiore, P. Zellini, Complessita' e Iterazione - percorsi, matrici e algoritmi veloci nel calcolo numerico, Bollati Boringhieri, Torino, 2013.

Exam mode. Written and oral exam

ELEMENTI DI PROBABILITÀ 1 (EP) – II Semestre - 8 CFU - settore MAT/06 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Barbara Pacchiarotti

Programma. Moto Browniano. Martingale a tempo continuo. Integrale stocastico, calcolo stocastico. Equazioni differenziali stocastiche e processi di Markov.

Obiettivi di apprendimento. Saper utilizzare e conoscere il calcolo stocastico. Acquisire la capacità di fornire dei modelli per descrivere situazioni reali.

Testi consigliati. P. Baldi, Stochastic calculus, Springer.

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. Brownian motion. Continuous time martingales. Stochastic integrals, stochastic calculus. Stochastic differential equations and Markov processes.

Learning objectives. To make the student acquainted with the tools of stochastic calculus and with the corresponding theory. He will also acquire the capability of modeling applied situations.

Text books. P. Baldi, Stochastic calculus, Springer.

Exam mode. Written and oral exam

EQUAZIONI DIFFERENZIALI - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/05 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Riccardo Molle

Programma. Introduzione alle equazioni differenziali: esempi e strategie risolutive, in particolare approccio variazionale. L'operatore di Laplace. Richiami di calcolo differenziale in spazi di Banach. Operatori di Nemitsky. Problemi ellittici nonlineari. Metodi topologici in Calcolo delle Variazioni.

Obiettivi di apprendimento. Acquisire familiarità con alcuni metodi classici e moderni per lo studio delle equazioni differenziali alle derivate parziali. In particolare verranno considerate equazioni nonlineari di tipo ellittico. La comprensione di tali concetti, metodi e teorie, permetterà di affrontare anche contesti potenzialmente differenti da quelli visti a lezione.

Testi consigliati. *) L.C. Evans, Partial Differential Equations. Second Edition. American Mathematical Society, Providence, RI, 2010. *) M. Struwe, Variational Methods, Springer-Verlag Berlin Heidelberg *) A. Ambrosetti - G. Prodi, A Primer of Nonlinear Analysis, Cambridge University Press.

Modalità di esame. Prova orale

Program. An introduction to differential equations: examples and some techniques to solve them, in particular the variational approach. The Laplace operator. Some notions on differential calculus in Banach spaces. Nemitsky operators. Nonlinear elliptic problems. Topological methods in Calculus of Variations.

Learning objectives. To get familiar with some classical and modern methods to study partial differential equations. In particular nonlinear differential equations of elliptic type are considered. The comprehension of such concepts, methods, and theories will enable students to solve problems even if

different contexts from those analyzed in class.

Text books. *) L.C. Evans, Partial Differential Equations. Second Edition. American Mathematical Society, Providence, RI, 2010. *) M. Struwe, Variational Methods, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *) A. Ambrosetti - G. Prodi, A Primer of Nonlinear Analysis, Cambridge University Press

Exam mode. Oral exam

FISICA COMPUTAZIONALE - II Semestre - 9 CFU - settore FIS/01 - 72 ore di lezione in aula
Prof. Pecchia

FISICA DEI FLUIDI COMPLESSI E TURBOLENZA - I Semestre - 8 CFU - settore FIS/01 - 64 ore di lezione in aula
Prof. Chinappi

GEOMETRIA ALGEBRICA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/03 - 64 ore di lezione in aula
Prof. Flaminio Flamini

Programma. Preliminari algebrici. Topologia di Zariski nello spazio affine e proiettivo. Teoremi degli zeri di Hilbert (forma debole e forte) caso affine e proiettivo. Varietà algebriche. Funzioni regolari e razionali. Morfismi ed applicazioni razionali. Prodotti. Scoppiamenti. Teorema fondamentale dell'eliminazione ed applicazioni. Applicazioni birazionali. Spazi tangenti.

Obiettivi di apprendimento. Presentare i concetti fondamentali che sono legati al problema di risolvere sistemi di equazioni polinomiali in più indeterminate. La Geometria Algebrica studia queste soluzioni da un punto di vista globale, utilizzando la teoria delle varietà algebriche.

Testi consigliati. Note scritte dal docente, scaricabili gratuitamente dalla rete.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Algebraic preliminaries. Zariski topology in affine and projective spaces. Hilbert theorems (weak and strong forms) in affine and projective case. Algebraic varieties. Regular and rational functions. Morphisms and rational maps. Products. Blow-ups. Main theorem of elimination theory and applications. Birational maps. Tangent spaces.

Learning objectives. Present fundamental concepts related to the problem of solving Systems of polynomial equations in several indeterminates. Algebraic Geometry studies these solutions from a global point of view, via the theory of Algebraic varieties.

Text books. Notes written by the lecturer, freely downloadable from website.

Exam mode. Oral exam

GEOMETRIA COMPLESSA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/03 - 64 ore di lezione in aula
Prof. Filippo Bracci

Programma. Varietà differenziabili e complesse, fascio di struttura, sottovarietà regolari, immersioni e embedding, Sommersioni, fibrazioni e fibrati, Fibrati vettoriali e loro proprietà, Sezioni di fibrati, Metriche lungo le fibre di un fibrato vettoriale, Fibrato pull-back, Sottofibrati vettoriali, Fibrati quoziente, Successioni esatte di fibrati vettoriali, Fibrati lineari e gruppo di Picard su varietà complesse, Fibrati tautologici sullo spazio proiettivo, Campi di vettori, foliazioni e forme differenziali,

Fasci e coomologia di Cech, il teorema di de Rham astratto, Connessioni su fibrati, connessioni metriche e altre connessioni adattate. Teoria di Chern-Weil.

Obiettivi di apprendimento. Dare agli studenti la capacità di leggere libri avanzati di geometria e articoli di ricerca nell'area, e dare un background di geometria che è oggi usato in molte altre materie.

Testi consigliati. Note del docente disponibili sulla pagina web del docente; Wells "differential Analysis on Complex Manifolds" Springer.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Smooth and Complex Manifolds, structure sheaf, regular submanifolds, immersions and embeddings, submersion, fibrations and fiber bundles, vector bundles and their properties, sections of bundles, metrics along the fibers, pull-back, subbundles of vector bundles, quotient bundles, exact sequences of bundles, line bundles and Picard group on complex manifolds, tautological bundles, vector fields, foliations and differential forms, sheaves and Cech cohomology, the abstract de Rham theorem, connections on vector bundles, metric connections and other adapted connections, Chern-Weil theory.

Learning objectives. To give students the ability of reading advanced books in geometry and research papers in the area, and to provide a background on geometry which is nowadays used in many other discipline.

Text books. Notes of the professor; Wells "differential Analysis on Complex Manifolds" Springer

Exam mode. Oral exam

GEOMETRIA DIFFERENZIALE - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/03 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Stefano Trapani

Programma. Differenziazione di un campo vettoriale su una sottovarietà di R^n : Strutture Riemanniane su una varietà differenziabile. Connessioni sul fibrato tangente ad una varietà differenziabile. Connessione di Levi Civita di una struttura Riemanniana su una varietà. Spostamento parallelo. Tensore di curvatura. La connessione di Levi Civita espressa in termini di forme differenziali (la forma di connessione, la forma di curvatura e le equazioni di struttura). Geodetiche su una varietà con struttura Riemanniana, varietà riemanniane complete, teoremi di Hopf Rinow. La mappa esponenziale. Prime nozioni della teoria dei gruppi di Lie.

Obiettivi di apprendimento. Introdurre lo studente alle prime nozioni di geometria Riemanniana e gruppi di Lie.

Testi consigliati. William Boothby, An introduction to differentiable manifolds and Riemannian Geometry; Warner, Foundations in differential geometry and Lie Groups.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Differentiation of a vector field on a sub manifold of R^n : Riemannian structure of a differentiable manifold. Connections on the tangent bundle of a differentiable manifold. Levi Civita connection on a Riemannian manifold. Spostamento parallelo.

Parallel displacement. Levi Civita connections in terms of differential forms (The connection form, the curvature form and the structure equation). Geodesics on a Riemannian manifold, complete Riemannian manifolds, Hopf Rinow theorems. The exponential map. First notions of Lie Group theory.

Learning objectives. To introduce the students to the first notions of Riemannian geometry and Lie Group theory.

Text books. William Boothby, An introduction to differentiable manifolds and Riemannian Geometry;

Warner, Foundations in differential geometry and Lie Groups.

Exam mode. Oral exam

INTRODUZIONE AI PROCESSI ALEATORI - II Semestre - 8 CFU - settore SECS-S/01 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Domenico Marinucci

Programma. Introduzione - stazionarietà debole e forte. Richiami di spazi di Hilbert. Processi ARMA - condizioni di esistenza e stazionarietà, proprietà funzioni di covarianza. Teorema di Herglotz-Bochner; densità e distribuzione spettrale. Filtri lineari; densità spettrale processi ARMA. Costruzione degli integrali stocastici; teorema di rappresentazione spettrale. Stima della densità spettrale: il periodogramma e le sue proprietà asintotiche. Whittle likelihood. Processi nonstazionari: convergenza debole in spazi di funzioni, processi a radici unitarie, tests. Campi aleatori isotropi sulla sfera: rappresentazione spettrale.

Obiettivi di apprendimento. Il corso fornisce una introduzione all'analisi spettrale dei processi stazionari; vengono affrontati anche argomenti più specialistici, quali i processi a radici unitarie ed i campi aleatori sulla sfera.

Testi consigliati. Brockwell and Davis - Time Series Models, Springer.

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. Weak and strong stationarity. Background on Hilbert spaces. ARMA processes, covariance functions, Herglotz-Bochner Theorem, spectral density and distribution function. Linear filters, spectral density of ARMA processes. Stochastic integrals and the spectral representation theorem. Spectral density estimators: the periodogram and its asymptotic properties. Whittle likelihood. Nonstationary processes, weak convergence on function spaces, unit roots, tests. Random fields on the sphere: spectral representations.

Learning objectives. The aim of this course is to provide an introduction to the theory of stationary stochastic processes. Some more advanced material is also addressed, such as unit root processes and spherical random fields.

Text books. Brockwell and Davis - Time Series Models, Springer.

Exam mode. Written and oral exam

INTRODUZIONE ALLE VARIETÀ DIFFERENZIABILI - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/03 - 64 ore di lezione in aula

Docente da definire

LABORATORIO DI CALCOLO - I Semestre - 4 CFU - settore INF/01 - 32 ore di lezione in aula

Prof. Francesca Pelosi

Programma. Formulazione debole di un problema differenziale ellittico monodimensionale. Approssimazione di Galerkin. Esempio di discretizzazione di Galerkin su un problema 1D. Introduzione al software Matlab. Utilizzo di Matlab per l'implementazione di un problema ellittico 1D con condizioni di Dirichlet non omogenee. Analisi della matrice di stiffness, comportamento del condizionamento. Analisi della convergenza della soluzione e rappresentazione grafica.

Formulazione debole di problemi di Poisson bidimensionali. Introduzione al software FreeFem++.

Implementazione di problemi di Poisson definiti su un quadrato o su un cerchio. Costruzione della mesh su vari domini, adattività della mesh. Analisi della matrice di stiffness e delle formule di quadratura. Analisi di problemi di diffusione trasporto. Analisi di problemi di reazione-diffusione. Tecniche di stabilizzazione. Esempi di implementazione di tecniche di stabilizzazione su problemi di diffusione-trasporto e diffusione-reazione.

Obiettivi di apprendimento. Fornire un'introduzione all'uso di software scientifico per lo studio e la risoluzione di problemi di matematica avanzata.

Testi consigliati. "Modellizzazione geometrica per problemi differenziali", A. Quarteroni, Springer eds, (IV edizione), 2008.

Modalità di esame. Realizzazione di un progetto (in piccolo gruppo: 2 o 3 persone) e discussione del progetto stesso.

Program. Weak form of 1D elliptic differential problems. Galerkin approximation. Example of Galerkin discretization on a 1D problem with non homogeneous Dirichlet boundary conditions. Matlab preliminaries. Coding a 1D elliptic differential problem with Matlab. Stiffness matrix analysis: conditioning. Convergence analysis of the approximate solution for different discretizations and graphic representation.

Weak form of 2D Poisson problems. FreeFem++ preliminaries. Coding of Poisson problems defined on circular and square domains. Mesh constructions on different domains and mesh adaptivity. Costruzione della mesh su vari domini, adattività della mesh. Stiffness matrix analysis and quadrature rules investigation. Advection-Diffusion problem. Reaction-Diffusion problems. Stabilization techniques.

Examples of coding. Stabilization techniques on Advection-Diffusion Reaction-Diffusion problems.

Learning objectives. Provide an introduction to the use of scientific software for the analysis and solution of advanced mathematic problems.

Text books. "Modellizzazione geometrica per problemi differenziali", A. Quarteroni, Springer eds, (IV edizione), 2008.

Exam mode. Project coding (in a small group: 2 or 3 people) and discussion of the project itself.

LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/04 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Benedetto Scoppola

Programma. A partire dallo studio di testi di matematica classica si propongono attività laboratoriali in cui si valorizza il legame tra aritmetica e geometria. Si tratteranno, tra l'altro: la nozione di numero, il concetto di commensurabilità e gli insiemi numerici; il massimo comun divisore e il minimo comune multiplo; la radice quadrata; applicazioni del teorema di Pitagora; stime delle aree; logica booleana e circuiti logici; applicazioni fisico-matematiche.

Obiettivi di apprendimento. Valorizzazione del legame tra aritmetica e geometria in modo da proporre una matematica che ponga al centro dei processi di apprendimento anche gli aspetti percettivi. Presentazione della matematica come linguaggio naturale per descrivere i fenomeni naturali.

Testi consigliati. Dispense messe a disposizione dai docenti

L. Russo, G. Pirro, E. Salciccia: Euclide, il I libro degli Elementi, Carocci Editore; M. Montessori, Psicogeometria, edito da Opera Nazionale Montessori.

Modalità di esame. Orale con presentazione di materiali didattici

Program. Starting from the study of classical mathematics texts, we propose activities in which the

link between arithmetic and geometry is enhanced. Among other things, it will be discussed the notion of number, the concept of commensurability and numerical sets, the maximum common divisor and the lowest common multiple, the square root, applications of the Pythagorean theorem, area estimates, Boolean logic and logic circuits, physical-mathematical applications.

Learning objectives. Highlighting the link between arithmetic and geometry in order to propose a mathematics that places the perceptive aspects at the center of the learning process. Presentation of mathematics as a natural language to describe natural phenomena.

Text books. L. Russo, G. Pirro, E. Saliccia: Euclide, il I libro degli Elementi, Carocci Editore; M. Montessori, Psicogeometria, edito da Opera Nazionale Montessori.

Exam mode. Oral exam

LINGUA INGLESE - II Semestre - 5 CFU - settore L-LIN/12

LOGICA MATEMATICA 1 - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/01 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Paolo Lipparini

Programma. Paradossi. Sistemi formali. Linguaggi. Formule ben formate. Assiomi. Dimostrazioni in senso formale. Calcolo delle proposizioni. Calcolo dei predicati del primo ordine. Modelli. Soddisfacibilità. Teorie del primo ordine. Teoremi di completezza e compattezza. Applicazioni. Modelli non standard. Teoremi di incompletezza. Conseguenze. Costruzioni di modelli. Teoremi di Lowenheim Skolem. Ultrafiltri e ultraprodotti. Teorema di Los. Applicazioni topologiche degli ultrafiltri. Analisi non standard.

Obiettivi di apprendimento. Acquisire una buona conoscenza dello sviluppo, dei metodi e delle applicazioni della logica matematica, con particolare riguardo ai teoremi di incompletezza e all'uso della teoria dei modelli. Rendersi conto dell'esistenza di limiti ben definiti alle possibilità del metodo deduttivo formale.

Testi consigliati. Verranno rese disponibili dispense, con altro materiale consultabile online. Possibili testi di riferimento (dei quali non è assolutamente necessario l'acquisto) sono: Elliott Mendelson, Introduzione alla logica matematica, qualunque edizione; C. C. Chang e H. J. Keisler, Model Theory, o traduzione italiana, Teoria dei modelli.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Paradoxes. Formal systems. Language. Well formed formulas. Axioms. Formal proofs. Propositional calculus. First order predicate calculus. Models. Satisfaction. First order theories and the completeness and compactness theorems. Applications. Non standard models. Incompleteness theorems and consequences. Basic model constructions. Lowenheim Skolem theorems. Ultrafilters and ultraproducts. Los theorem. Topological applications of ultrafilters. Non standard analysis.

Learning objectives. The aim of the course is to provide a good knowledge of the developments, the methods and the applications of mathematical logic, in particular, of the incompleteness theorems and of model theory. The student will also realize the intrinsic limits of the deductive method.

Text books. Material will be available online. Further references: Elliott Mendelson, Introduction to mathematical logic, any edition; C. C. Chang e H. J. Keisler, Model Theory, any edition.

Exam mode. Oral exam

MACHINE LEARNING - II Semestre - 9 CFU - settore INF/01 - 72 ore di lezione in aula

Prof. Giorgio Gambosi

Programma. Pattern recognition e machine learning. Schema generale di un sistema di ML. Inferenza. Apprendimento supervisionato e non supervisionato. Regressione lineare. Funzioni base e regressione. Overfitting e funzioni di penalizzazione. Model selection. Introduzione alla teoria delle decisioni. Classificazione: approcci (funzioni di discriminazione, modelli probabilistici discriminativi, modelli probabilistici generativi). Riduzione di dimensionalità e feature selection. Il modello connessionistico. Reti neurali a più strati. Apprendimento di reti neurali. Optimal margin classifiers e support vector machines. Funzioni kernel. Metodi non parametrici per la stima di probabilità: applicazione alla classificazione. Apprendimento non supervisionato. Clustering. Algoritmo k-means. Modelli di mistura di distribuzioni. Modelli a variabili latenti e algoritmo EM. Applicazione a modellazione di testo. Modelli di Markov nascosti (HMM). Ensemble learning. Utilizzo di strumenti e linguaggi (R, Python) per l'analisi e l'apprendimento da dataset reali.

Obiettivi di apprendimento. Introdurre alla conoscenza dei fondamenti matematici, oltre che all'utilizzo effettivo, degli approcci più diffusi per l'apprendimento automatico, supervisionato e non supervisionato.

Modalità di esame. Prova orale. Si richiede lo sviluppo di un progetto di analisi e learning da un dataset reale

MECCANICA ANALITICA E CELESTE - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/07 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Alessandra Celletti

Programma. Il corso verte su un'introduzione alla Meccanica Classica e Celeste. Il programma analitico del corso è il seguente: - Richiami di Meccanica Hamiltoniana: trasformazioni canoniche, criteri di canonicità, parentesi di Poisson, integrali primi; Sistemi integrabili; Teorema di integrabilità locale; Teorema di Arnold-Liouville e variabili azione-angolo; Esempi di sistemi integrabili: oscillatori armonici, moto in un campo centrale, giroscopio pesante; Moti regolari e caotici; Sistemi conservativi e dissipativi; Sistemi continui e discreti, mappe di Poincaré, standard map; Gli esponenti di Lyapunov; Il problema dei 2 corpi; Le leggi di Keplero; Variabili azione-angolo di Delaunay e il problema dei 3 corpi; I punti di equilibrio Lagrangiani; Il problema dei 3 corpi ristretto; Dinamica rotazionale; Risonanze spin-orbita: derivazione del modello e costruzione di superfici invarianti; Teoria perturbativa; Applicazioni della teoria perturbativa; Teorema KAM: dimostrazione, aritmetica degli intervalli, cenni di teoria dei numeri e frazioni continue; Tecniche classiche e superconvergenti; Collisioni e teoria della regolarizzazione; Trasformazione di Levi-Civita.

Obiettivi di apprendimento. Si intendono affrontare gli argomenti principali della Meccanica Classica e Celeste, quali i sistemi integrabili e non-integrabili, teoria delle perturbazioni, teoria KAM, la stabilità del sistema solare, le risonanze orbitali e spin-orbita, la teoria della regolarizzazione. Saranno considerati esempi pratici ed assegnati esercizi allo scopo di familiarizzare con importanti strumenti matematici e utili modelli della Meccanica Celeste.

Testi consigliati. V.I. Arnold, "Metodi Matematici della Meccanica Classica", Editori Riuniti (1979); A. Celletti, "Stability and Chaos in Celestial Mechanics", Springer-Praxis, XVI, 264 p., Hardcover ISBN: 978-3-540-85145-5 (2010); H. Goldstein - Meccanica Classica, Zanichelli (2005)

Modalità di esame. Il corso si conclude con un esame orale sugli argomenti del corso.

Program. The course deals with Classical and Celestial Mechanics. The detailed program of the course

is the following: basics of Classical Mechanics: canonical transformations, canonical criteria, Poisson brackets, first integrals; Integrable systems; theorem on local integrability; Arnold-Liouville Theorem and action-angle variables; examples of integrable systems: harmonic oscillators, motion in a central field, gyroscopic motion; regular and chaotic motions; conservative and dissipative systems; continuous and discrete systems, Poincarè map, standard map; Lyapunov exponents; the two body problem; Kepler's laws; action-angle Delaunay variables and the three-body problem; Lagrangian equilibrium points; the restricted three body problem; rotational dynamics; spin-orbit resonances: derivation of the model and construction of invariant surfaces; perturbation theory; applications of perturbation theory; KAM Theorem: proof, interval arithmetic, continued fractions; classical and superconvergent techniques; collisions and regularization theory; Levi-Civita transformation.

Learning objectives. We intend to treat the main topics of Classical and Celestial Mechanics, from integrable to non-integrable systems, to perturbation theory, KAM theory, the stability of the Solar system, orbital and spin-orbit resonances, regularization theory. Practical examples and exercises will be given to get acquainted with important mathematical tools and useful models in Celestial Mechanics.

Text books. V.I. Arnold, "Metodi Matematici della Meccanica Classica", Editori Riuniti (1979); A. Celletti, "Stability and Chaos in Celestial Mechanics", Springer-Praxis, XVI, 264 p., Hardcover ISBN: 978-3-540-85145-5 (2010); H. Goldstein - Meccanica Classica, Zanichelli (2005)

Exam mode. The course is concluded by an oral exam on the topics of the course.

MECCANICA STATISTICA 2 - I Semestre - 6 CFU - settore FIS/03 - 48 ore di lezione in aula
Prof. Rossana Marra

METODI E MODELLI IN COMPUTER GRAPHICS - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/08 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Angelo Massimo Picardello

Programma. Il corso copre gli algoritmi classici e moderni della Computer Graphics, con particolare riferimento agli aspetti analitici, probabilistici e numerici. Vengono studiati in dettaglio molti dei seguenti argomenti: gli algoritmi di rimozione delle aree nascoste (z-buffer, ray tracing, partizione binaria ed altri), i modelli di illuminazione ed ombreggiatura, le mappe di tessitura, di rilievo, di riflessione e di occlusione, il rendering delle ombre e della trasparenza, il ray tracing ricorsivo, la radiosità e l'illuminazione globale (inclusi final gathering e photon mapping).

Obiettivi di apprendimento. Completa e profonda comprensione degli argomenti del corso, con la capacità di connettere perfettamente le idee matematiche di base, risolvere problemi, comprendere a fondo enunciati e dimostrazioni di tutti i risultati in maniera corretta e sviluppare progetti software correlati. Lo studente deve acquisire una assimilazione matura dei contenuti ed essere in grado di applicarli ai corsi correlati.

Testi consigliati. M. Picardello, "Rendering tridimensionale: metodi numerici, analitici e probabilistici" (disponibile online a http://www.mat.uniroma2.it/~picard/SMC/didattica/materiali_did/Comp.Graph./Computer_Graphics.pdf); Bala, Bekaert, Dutre', "Advanced Global Illumination", 2nd edition, Taylor&Francis, 2006; H. Wann Jensen, "Realistic Image Synthesis using Photon Mapping", Taylor&Francis, 2001

Modalità di esame. All'inizio e durante tutto il corso vengono verificate le conoscenze pregresse degli studenti; vengono somministrati 3 test intermedi, a scopo sia di orientamento sia di accertamento, dei

quali viene tenuto conto per la valutazione finale. L'esame finale avviene attraverso una prova scritta ed una orale. Può essere chiesto agli studenti anche lo sviluppo di pacchetti individuali di software per il rendering fotorealistico di scene tridimensionali (in linguaggio C, C++, o almeno Java). La frequenza alle lezioni è fortemente consigliata.

Program. Classical and modern methods of Computer Graphics are covered, with emphasis on the mathematical aspects: analytic, probabilistic and numerical. Many algorithms are presented in detail, including most of the following topics: hidden area removal (z-buffer, ray tracing, binary space partition and others), lighting and shading models, texture maps, bump maps, reflection maps, occlusion maps, rendering of penumbra and transparency, recursive ray tracing, radiosity and global illumination (inclusive of final gathering e photon mapping).

Learning objectives. Full and complete understanding of the course's topics. The students must be able to connect perfectly all mathematical and programming ideas and algorithms, to understand in full all mathematical base ideas and all statements and proofs, to solve problems and to develop related software projects. This understanding and know-how must be acquired in depth, with the capability of applying the contents to related courses.

Text books. M. Picardello, "Rendering tridimensionale: metodi numerici, analitici e probabilistici" (disponibile online a http://www.mat.uniroma2.it/~picard/SMC/didattica/materiali_did/Comp.Graph./Computer_Graphics.pdf); Bala, Bekaert, Dutre', "Advanced Global Illumination", 2nd edition, Taylor&Francis, 2006; H. Wann Jensen, "Realistic Image Synthesis using Photon Mapping", Taylor&Francis, 2001

Exam mode. At the beginning and during all the development of the course the students' are tested on their previous knowledge of the mathematical prerequisites; 3 or more intermediate tests are offered in order to point out problems in understanding and also for evaluation. Typically, the final exam is based upon a written test and a colloquium; the students may also be asked to develop their own software projects aimed to photorealistic rendering of 3D scenes (using the programming languages C or C++, or at least Java). Students are strongly encouraged to attend the lectures.

METODI COMPUTAZIONALI PER SISTEMI HAMILTONIANI - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/07 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Ugo Locatelli

Programma. Richiami di formalismo Hamiltoniano: parentesi di Poisson e trasformazioni canoniche. I sistemi integrabili: teorema di Liouville; cenni al teorema di Arnold-Jost. Trasformazioni canoniche prossime all'identità: serie di Lie. Introduzione ai metodi simplettici di integrazione numerica dei sistemi Hamiltoniani [*]. I sistemi quasi integrabili: la dinamica nell'intorno di un punto di equilibrio. Studio di alcuni esempi fondamentali: problema ristretto dei 3 corpi nei pressi dei punti Lagrangiani equilateri [*], modello di Henon-Heiles [*]. Forma normale di Birkhoff [*] e stabilità effettiva alla Nekhoroshev. Cenni al teorema KAM sulla persistenza dei moti quasi periodici. A seconda del tempo a disposizione, l'ultima parte del corso tratterà uno dei due seguenti argomenti oppure entrambi. (1) Il teorema della varietà stabile. Visualizzazione grafica delle varietà stabili/instabili [*]. Origine del caos e esponenti di Lyapunov [*]. (2) Studio della dinamica Hamiltoniana quasi-integrabile con il metodo dell'analisi in frequenza [*]. [*] = argomento che sarà trattato anche durante alcune speciali sessioni di attività laboratoriali ad esso dedicate.

Obiettivi di apprendimento. Introduzione alla moderna teoria dei metodi perturbativi per sistemi Hamiltoniana. Acquisizione delle conoscenze necessarie a sviluppare una proficua interazione tra lo

studio della teoria dei sistemi dinamici e gli esperimenti numerici effettuati per mezzo di un computer.

Testi consigliati. Tutto il materiale didattico (note, programmi, riferimenti bibliografici, etc.) sarà messo a disposizione a partire dalla pagina web dedicata al corso: <http://www.mat.uniroma2.it/~locatell/MCSH/>.

Modalità di esame. L'esame sarà costituito da tre prove. Una dissertazione scritta su uno degli argomenti del corso (ad es. la dimostrazione di uno dei teoremi). Lo svolgimento di un'esperienza numerica (concordata con il docente) ampliando/modificando opportunamente alcuni programmi descritti nelle sessioni laboratoriali. Una prova orale su un argomento concordato con il docente.

Program. Basics of Hamiltonian formalism: Poisson brackets, canonical transformations. Integrable systems: Liouville theorem; sketch of the Arnold-Jost theorem. Near-to-the-identity canonical transformations: the Lie series method. Introduction to the symplectic numerical integrators for Hamiltonian systems [*]. Quasi-integrable systems: the local dynamics close to an equilibrium point. Study of a couple of guiding examples: the restricted three-body problem in the neighborhood of the equilateral Lagrangian points [*], the Henon-Heiles model [*]. Birkhoff normal form and effective stability in the sense of the estimates à la Nekhoroshev. Sketch of the KAM theorem on the persistence of the quasi-periodic motions. The last part of the course will be devoted to at least one of the following arguments according to the remaining time at disposal. (1) The theorem on the stable manifolds. Visualization of the stable/unstable manifolds [*]. Chaos and Lyapunov exponents [*]. (2) Study of the quasi-integrable Hamiltonian dynamics by using the method of frequency analysis [*]. [*] = For what concerns such an argument, activities during special sessions in a PC classroom will be devoted to explicit computational solutions of the problem.

Learning objectives. Introduction to the modern theory about the perturbative methods for Hamiltonian systems. Development of the knowledge that is essential to establish a fruitful interaction between the theoretical study of the dynamical systems and the numerical investigations performed on a computer.

Text books. All the material (notes, programs, references to textbooks and so on) will be available starting from the following webpage: <http://www.mat.uniroma2.it/~locatell/MCSH/>

Exam mode. Each exam will be divided in three subparts. A written dissertation on one of the theoretical arguments explained in the lectures (e.g. the complete proof of a theorem). A numerical experience (on a problem assigned by the teacher) that will be made by modifying or extending some codes described during the special sessions in the PC classroom. An oral exam on a single special argument assigned by the teacher.

METODI E MODELLI DEI MERCATI FINANZIARI - I Semestre - 8 CFU - settore SECS/S-06 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Lucia Caramellino

Programma. L'obiettivo del corso è lo studio ed il calcolo del prezzo e della copertura di opzioni europee quando il modello di mercato è scelto nella classe dei modelli continui. Sono quindi trattati argomenti propri del calcolo stocastico (processi di Markov, teorema di Girsanov, diffusioni e formule di rappresentazione alla Feynman-Kac) ed introdotti modelli di diffusione per i mercati finanziari, per lo studio dell'arbitraggio e della completezza del mercato. Particolare enfasi data al modello di Black e Scholes. Parte del corso dedicata ai metodi numerici Monte Carlo per la finanza. Saranno proposti alcuni approfondimenti a scelta dello studente (tassi di interesse, opzioni americane, applicazioni del calcolo di Malliavin alla finanza).

Obiettivi di apprendimento. Comprensione del linguaggio proprio della finanza matematica; conoscenza dei modelli di diffusione per la finanza, in particolare per la risoluzione dei problemi legati alle opzioni (calcolo del prezzo e della copertura); capacità di istituire collegamenti con materie collegate (teoria della misura, analisi funzionale, problemi alle derivate parziali, linguaggi di programmazione etc.) e con problemi provenienti dal mondo reale; risoluzione numerica di problemi reali (prezzo e copertura di opzioni) tramite costruzione di algoritmi Monte Carlo.

Testi consigliati. D. Lamberton, B. Lapeyre: Introduction to stochastic calculus applied to finance. Second Edition. Chapman&Hall, 2008; P. Baldi: Stochastic calculus, Springer, 2018; Monte Carlo methods in Finance, appunti distribuiti dal docente.

Modalità di esame. L'esame è orale e comprende anche la discussione degli algoritmi di simulazione discussi durante il corso. Per accedere all'esame gli studenti devono consegnare per tempo (4 giorni prima della data d'esame) i programmi sulla parte numerica del corso. Per la parte numerica si fa esplicita richiesta di utilizzo di un linguaggio di programmazione (ad es. C, C++, Pascal etc., ma non Scilab o analoghi software), a scelta dello studente. Si richiede la consegna dei file sorgente.

Program. The course deals with the problems of the pricing and the hedging of European options when the underlying market model is set as a diffusion model. Firstly, special topics in stochastic calculus are recalled and developed (Markov processes, Girsanov's theorem, diffusion processes and Feynman-Kac type representation formulas); secondly, diffusion models are introduced for the study of the arbitrage and the completeness of the financial markets. A special emphasis is given to the Black and Scholes model. A part of the course is devoted to Monte Carlo numerical methods in Finance. Students have to choose a free-choice part of the course among the following subjects: American options, interest rate models, applications to finance of the Malliavin calculus.

Learning objectives. Comprehension of the financial language; knowledge of the diffusion models used in Finance, in particular for the solution to the pricing and the hedging problem; ability in linking related mathematical topics (measure theory, functional analysis, partial differential equations, programming languages) and real world problems; numerical solutions of practical problems (pricing and hedging options) through Monte Carlo algorithms.

Text books. D. Lamberton, B. Lapeyre: Introduction to stochastic calculus applied to finance. Second Edition. Chapman&Hall, 2008; P. Baldi: Stochastic differential equations. Lecture notes, 2016. L. Caramellino; Monte Carlo methods in Finance. Lecture notes, 2016.

Exam mode. The final exam consists of an oral examination, which includes also a deep discussion on the simulation algorithms analyzed during the course. Students must deliver the source codes (preferably in C or C++ language) with the resolution of the numerical exercises four days before the exam date (by sending an e-mail).

MECCANICA SUPERIORE 2 - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/07 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Alessandro Pizzo

Programma. Fondamenti della meccanica quantistica, Lo spazio di Hilbert e la formulazione algebrica, Le equazioni di Schrodinger and Heisenberg, Analisi di sistemi elementari, Simmetrie in meccanica quantistica, Rappresentazione di SU(2) e lo spin, Teoria spettrale di operatori di Schrodinger, Teoria delle perturbazioni, Teoria a molti corpi e quantizzazione del campo elettromagnetico, Risultati rigorosi in QED non-relativistica.

Obiettivi di apprendimento. Il corso mira a fornire delle nozioni di base per lo studio matematicamente rigoroso di sistemi quantistici. Il programma potrà variare sulla base delle esigenze e

conoscenze di base dell'uditorio.

Testi consigliati. M. Reed B. Simon - Methods of Modern Mathematical Physics - Volumi I e IV - Academic Press

Modalità di esame. Prova orale

Program. Foundations of quantum mechanics, The Hilbert space and operator algebra formulations, The Schrodinger and Heisenberg equations, Analysis of simple systems, Symmetry in quantum mechanics, Representations of SU(2) and spin, Spectral theory of Schrodinger operators, Perturbation theory, Applications to atoms and molecules, Many body theory and quantisation of the electromagnetic field, Rigorous results in nonrelativistic QED.

Learning objectives. The course aims to providing basic notions for a rigorous mathematical analysis of quantum systems. The program may vary on the basis of the background knowledge of the audience.

Text books. M. Reed B. Simon - Methods of Modern Mathematical Physics - Volumi I e IV - Academic Press

Exam mode. Oral exam

NATURAL LANGUAGE PROCESSING - I Semestre - 6 CFU - settore INF-ING/05 - 48 ore di lezione in aula

Prof. Fabio Zanzotto

Programma. Il corso si propone di introdurre lo studente agli scopi, alle principali problematiche e ai principali modelli simbolici dell'elaborazione del linguaggio naturale. Alla fine del corso, lo studente sarà in grado di implementare un modello di elaborazione del linguaggio. Introduzione e la sfida delle macchine parlanti. Il Linguaggio: modelli e teorie linguistiche Modelli Linguistici e Sistemi

- Come determinare che un modello è corretto e un sistema è efficace: inter-annotation agreement e statistical significance
- Automi a stati finiti e trasduttori per la morfologia (appunti per la lezione): software Xerox Finite State Transducers
- Elaborazione sintattica con le grammatiche context-free
- - Parsing con le grammatiche context-free
- - Feature Structures e Unificazione
- - Tree Adjoining Grammars
- - Modular and Lexicalized Parsing
- - Probabilistic context-free grammar
- Semantica
- - Rappresentazione semantica simbolica: Introduzione a WordNet e FrameNet
- - Lambda Calcolo per la semantica del linguaggio naturale
- - Rappresentazione semantica distribuzionale
- Textual Entailment Recognition

Obiettivi di apprendimento. Il corso si propone di introdurre lo studente agli scopi, alle principali problematiche e ai principali modelli simbolici dell'elaborazione del linguaggio naturale. Alla fine del corso, lo studente sarà in grado di implementare un modello di elaborazione del linguaggio.

Testi consigliati. Daniel Jurafsky and James H. Martin, SPEECH and LANGUAGE PROCESSING: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition (Second Edition); I.Dagan, D.Roth, M.Sammons, F.M.Zanzotto, Recognizing Textual Entailment: Models and Applications, Synthesis Lectures on Human Language Technologies #23,

Morgan&Claypool Publishers, 2013.

Frequenza obbligatoria

Modalità di esame. Prova orale Valutazione progetto

In presenza di studenti stranieri l'insegnamento sarà erogato in lingua inglese

Program. Introduction to NLP and to the challenge of talking machines.

The language: linguistic models and theories

Linguistic models and systems.

- How to determine that a model is correct and a system is effective: inter-annotation agreement and statistical significance
- Morphology: Finite state automaton and transducers
- Syntactic analysis with context-free grammars
 - - Parsing with context-free grammars
 - - Feature Structures and Unification
 - - Tree Adjoining Grammars
 - - Modular and Lexicalized Parsing
 - - Probabilistic context-free grammar
- Semantics
 - - Symbolic Semantic Representation: WordNet and FrameNet
 - - Lambda Calculus for natural language semantics
 - - Distributional semantics
- Textual Entailment Recognition

Learning objectives. The course introduces to the common practices and the the common models of natural language processing. As a result of the learning, students will be able to implement a model for natural language processing.

Text books. Daniel Jurafsky and James H. Martin, SPEECH and LANGUAGE PROCESSING: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition (Second Edition); I.Dagan, D.Roth, M.Sammons, F.M.Zanzotto, Recognizing Textual Entailment: Models and Applications, Synthesis Lectures on Human Language Technologies #23, Morgan&Claypool Publishers, 2013.

Exam mode. Oral

NUMERICAL METHODS FOR COMPUTER GRAPHICS IN JAVA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/08 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Hendrik Gerard Speleers

Programma. La computer graphics è largamente utilizzata nell'industria cinematografica e dei video giochi. Il corso ha lo scopo di fornire le tecniche di base per la computer graphics ed una introduzione alla programmazione in Java. Il corso è formato da due parti. Parte 1: Introduzione a Java e alla programmazione orientata agli oggetti. Parte 2: Principi della computer graphics, fondamenti del rendering pipeline e rendering foto-realistico tramite ray-tracing.

Obiettivi di apprendimento. Fornire conoscenze di base delle tecniche di computer graphics per le applicazioni nel modelling e nella visualizzazione; mettere gli studenti in grado di implementare programmi.

Testi consigliati. Thinking in JAVA, by Bruce Eckel; Computer Graphics Using OpenGL, by Francis S. Hill and Stephen M. Kelley

Modalità di esame. Prova scritta, orale e valutazione del progetto

Program. Computer graphics is widely used in the video game and movie industry. The goal of this course is to provide some basic techniques in computer graphics, and to give an introduction to the programming language Java. The course consists of two parts. Part 1. Introduction to Java as an object-oriented programming language. Part 2. Principles of computer graphics, the basic rendering pipeline, and photo-realistic rendering by ray-tracing.

Learning objectives. Insight in the basic computer graphics techniques for modelling and visualization applications; the ability to implement small to medium-sized problems in an object-oriented programming language as Java.

Text books. Thinking in JAVA, by Bruce Eckel; Computer Graphics Using OpenGL, by Francis S. Hill and Stephen M. Kelley.

Exam mode. Written, oral exam and project evaluation

PROGETTAZIONE DI SISTEMI INFORMATICI - II Semestre - 8 CFU - settore INF/01 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Enrico Nardelli

Programma. Fondamenti dell'interazione persona-calcolatore, Fondamenti delle basi di dati, Fondamenti dello sviluppo basato su test, Fondamenti della realizzazione guidata da modelli, Svolgimento di un progetto didattico.

Obiettivi di apprendimento. Imparare i fondamenti dei metodi di base per la realizzazione di sistemi informatici fare un'esperienza di sviluppo di un sistema informatica.

Testi consigliati. Appunti del docente

Modalità di esame. Prova scritta e orale

Program. Fundamentals of human-computer interaction, Fundamentals of data bases, Fundamentals of test-driven development, Fundamentals of model-driven system development, Development of a didactic IT project.

Learning objectives. Learning the fundamentals of basic methods for IT systems design experiencing the design and implementation of an IT system.

Text books. Teacher's notes

Exam mode. Written and oral exam

RELATIVITÀ E COSMOLOGIA - I e II Semestre 8 CFU - settore FIS/05 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Nicola Vittorio

Programma. Il principio di equivalenza. Campi gravitazionali deboli. Moto geodetico. Significato fisico della metrica. Arrossamento delle righe spettrali. Forze inerziali. Tensori. Derivazione covariante. Il tensore di Riemann-Christoffel. Equazione di campo nel vuoto. Il tensore energia-impulso. Equazione di campo in presenza di materia. Leggi di conservazione. La soluzione di Schwarzschild: coordinate isotrope; moto planetario; deflessione della luce. L'espansione di Hubble. La radiazione cosmica di fondo. La metrica di Friedmann-Robertson-Walker. Nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri. Il problema della distanza in Cosmologia. Il modello standard in cosmologia e gli scenari inflazionati.

Obiettivi del corso. Conoscenza della relatività generale classica e degli strumenti del calcolo tensoriale. Competenze mirate alla risoluzione di problemi semplici in relatività generale. Conoscenze

dei modelli astrofisici che richiedono una trattazione general-relativistica (collasso gravitazionale, onde gravitazionali, cosmologia teorica) e delle osservazioni che consentono di validare questi modelli. Competenze mirate alla predizione di alcuni osservabili dell'astrofisica e della cosmologia moderna.

Testi consigliati. Narlikar, *An introduction to Relativity*, Cambridge University Press Carroll, *Spacetime and Geometry: an introduction to General Relativity*, Addison-Wesley.

Modalità di esame. Prova orale

In presenza di studenti stranieri l'insegnamento sarà erogato in lingua inglese

Program. The equivalence principle. Weak gravitational field. Geodesic motion. Physical interpretation of the metric tensor. Reddening of spectral lines. Inertial forces. Tensors. Covariant derivatives. The Riemann-Christoffel tensor. Field equation in vacuum. The energy-momentum tensor. Field equations in the presence of matter. Conservation laws. The Schwarzschild solution: isotropic coordinates; planetary motion; light deflection. The Hubble expansion. The Cosmic Microwave Background radiation. The Friedmann-Robertson-Walker metric. Primordial nucleosynthesis. The distance problem in cosmology. The standard model in cosmology and inflationary scenarios.

Learning objectives. Knowledge of modern theories for the large scale structure formation in the universe. Knowledge of the basic statistic tools, e.g. correlation function and power spectrum, in the framework of Gaussian stochastic processes. Knowledge of the cosmological models dominated by dark matter and dark energy. Skills aimed to characterize primordial density fluctuation, their evolution and their test against observations. Knowledge of the main processes responsible for CMB anisotropies, in the context of general relativity. Skills aimed to the interpretation of the COBE, WMAP, Planck satellite main results.

Text books. Coles and Lucchin, *Comology*, Wiley Dodelson, *Modern cosmology*, Academic Press Longair, *Galaxy formation*, Springer Peacock, *Cosmological physics*, Cambridge University Press.

Exam mode. Oral exam

STATISTICAL LEARNING AND HIGH DIMENSIONAL DATA - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/06 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Daniela De Canditiis

Programma. Definizione generale di un problema inferenziale. Il disegno sperimentale e l'estrazione delle caratteristiche. Inferenza supervisionata e non supervisionata. Assunzioni di base, definizione generale di funzione Perdita e di funzione Rischio. La validazione del modello. La classificazione come problema supervisionato: cosa è e perché usarla. Definizioni di base: funzione perdita, funzione Rischio, Classificatore di Bayes, funzioni discriminanti, regioni decisionali e contorni decisionali. Metodi di classificazione: Linear Discriminant Analysis (LDA), Quadratic Discriminant Analysis (QDA), il metodo dei vicini-più-vicini, classificazione logistica, Support Vector Machine (S.V.M.), alberi di classificazione (C.A.R.T.), bagging tree e boosted tree. Il problema della dimensionalità per problemi di classificazione e tecniche per affrontarlo: le componenti discriminanti lineari, la selezione delle variabili e la penalizzazione L1. Esempi di varia natura. La regressione come problema supervisionato: cosa è e perché usarla. Definizioni di base: funzione perdita e funzione Rischio. Metodi lineari come la regressione lineare semplice e multipla. Strategie per trattare il problema della dimensionalità dei dati: selezione del modello per passi successivi, l'analisi delle componenti principali (PCA), metodi di regolarizzazione tipo L2 (Ridge regression) e tipo L1 (LASSO). Metodi lineari e non lineari per l'analisi di dati funzionali basati su una espansione in una base (Splines, Fourier, Wavelet) oppure basati su una espansione in un dizionario qualsiasi (Gabor, RDWT, random). Tecniche di

regolarizzazione alla Tikonov (es. Filtro di Wiener per l'analisi di dati funzionali) e di regolarizzazione alla LASSO (es. soft thresholding per l'analisi di dati funzionali). Il problema della dimensionalità per problemi di regressione e la scalabilità algoritmica: costo per iterazione del metodo del gradiente discendente e regolarizzazione attraverso un arresto precoce dell'iterazione (Regularization via early stopping); Esempi di varia natura.

Prerequisiti. Faremo ampio uso di algebra lineare, di concetti base di teoria della probabilità e della statistica. Gli studenti sono tenuti ad avere familiarità con MATLAB.

Obiettivi di apprendimento. L'obiettivo di questo corso è di fornire agli studenti le conoscenze teoriche e le intuizioni di base necessarie per utilizzare ed eventualmente sviluppare efficaci soluzioni per l'analisi di dati in problemi reali e di diversa natura.

Testi consigliati. The Elements of Statistical Learning T. Hastie, R. Tibshirani & J. Friedman. Springer Series in Statistics (second edition); http://statweb.stanford.edu/~tibs/ElemStatLearn/printings/ESLII_print10.pdf;

Pattern Classification R. O. Duda, P. E. Hart, D.G. Stork. John Wiley & Sons, 2000

Modalità di esame. Allo studente verrà chiesto di scrivere una piccola tesina (programma Matlab) in cui si analizza un data set reale. La prova orale consiste nella discussione della tesina.

Program. General definition of an inferential problem. The experimental design and feature extraction. Supervised and unsupervised inference. Basic assumptions, general definition of loss function and risk function. The model validation. The classification as a supervised problem: what is it and why use it. Basic definitions: loss function, risk function, Bayes classifier, discriminant functions, decision regions and decision boundaries. Classification Methods: Linear Discriminant Analysis (LDA), Quadratic Discriminant Analysis (QDA), the Nearest-Neighbors method, logistics classification, Support Vector Machine (S.V.M.), classification trees (C.A.R.T.), bagging tree and boosted tree. The problem of dimensionality for classification problems and techniques to deal with it: linear discriminant components, variable selection and L1 penalization. Examples. The regression as supervised problem: what is it and why use it. Basic definitions: loss function and risk function. Linear methods such as simple and multiple linear regression. Strategies for dealing with high dimensional data: model selection, type L2 regularization methods (Ridge regression) and type L1 regularization methods (LASSO). Linear and nonlinear methods for functional data analysis: Basis expansion (Splines, Fourier, wavelet) or dictionary expansion (Gabor, RDWT, random). Tikonov regularization techniques (eg. Wiener Filter for functional data analysis) and LASSO regularization (eg. Soft-thresholding for functional data analysis). Regression problems for high dimensional data and algorithmic scalability: the cost per iteration of the gradient method and regularization through early stopping; the principal component analysis (PCA) and the reduction of dimensionality. Examples.

Prerequisites. We will make extensive use of linear algebra, basic concepts of probability theory and statistics. Students are required to be familiar with MATLAB.

Learning objectives. The goal of this course is to provide students with the theoretical knowledge and basic insights need to operate and possibly develop effective solutions for the analysis of real data problems.

Text books. The Elements of Statistical Learning T. Hastie, R. Tibshirani & J. Friedman. Springer Series in Statistics (second edition); http://statweb.stanford.edu/~tibs/ElemStatLearn/printings/ESLII_print10.pdf;

Pattern Classification R. O. Duda, P. E. Hart, D.G. Stork. John Wiley & Sons, 2000

Exam mode. Students will be asked to write a Matlab program for analyzing an actual data set and to discuss it.

STORIA E DIDATTICA DELLA MATEMATICA - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/04 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Franco Ghione

Programma. Il corso intende illustrare un possibile uso della storia della matematica in ambito didattico prendendo in esame alcuni argomenti fondamentali presenti nei programmi delle scuole di primo e secondo grado. In particolare, pur essendo un corso aperto a trattare argomenti di maggiore interesse per gli studenti, si intenderebbe prendere in esame l'origine e gli sviluppi dell'Algebra confrontando la così detta Algebra geometrica euclidea, con l'Algebra che si è sviluppata nella tradizione araba del IX, X e XI con al-Kwharizmi, al-Khayyam, e al-Tusi arrivando agli sviluppi rinascimentali in Italia culminanti dell'Algebra di Bombelli del 1572. Si utilizzerà una metodologia didattica di tipo laboratoriale avviando gli studenti a una lettura commentata dei testi classici e ad una loro rielaborazione in termini didattici.

Obiettivi di apprendimento. Collocare la matematica che si insegna nelle scuole secondarie in un contesto storico.

Testi consigliati. Catastini, Ghione, Rashed. Algebra. Origini e sviluppi tra mondo arabo e mondo latino, Carocci 2015; Lobacevskij, Nuovi principi della geometria, Boringhieri 1955; b. a. rosenfeld a history of non-euclidean geometry, springer, 1988.

Modalità di esame. Esame scritto e orale

Program. The rise of Algebra. The non-euclidean geometry.

Learning objectives. To place the teaching of mathematics in its historic context.

Text books. Catastini, Ghione, Rashed. Algebra. Origini e sviluppi tra mondo arabo e mondo latino, Carocci 2015; Lobacevskij, Nuovi principi della geometria, Boringhieri 1955; b. a. rosenfeld a history of non-euclidean geometry, springer, 1988.

Exam mode. Written and oral exam

STORIA DELLA SCIENZA - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/04 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Lucio Russo

Programma. Conoscenze pre-scientifiche e scienza: cenni al problema della demarcazione. La filosofia naturale della Grecia classica. Metodo e risultati della scienza ellenistica. Il Rinascimento scientifico. L'età galileiana. Principali caratteristiche della scienza settecentesca. La nascita delle principali teorie dell'Ottocento: geometrie non euclidee, termodinamica, elettromagnetismo, chimica, teoria dell'evoluzione. Crisi della scienza esatta nel primo Novecento. Sviluppo dell'informatica e sue conseguenze. Mutamenti del rapporto tra scienza e tecnologia.

Obiettivi di apprendimento. Obiettivo principale del corso è lo sviluppo, attraverso l'analisi diacronica, di un atteggiamento critico verso i problemi metodologici riguardanti le teorie scientifiche e i loro criteri e limiti di applicabilità. Altro obiettivo è quello di raggiungere, attraverso lo studio della loro origine storica, una comprensione più profonda dei concetti scientifici attuali. Infine lo studio della storia della scienza dovrà servire a integrare in modo essenziale la ricostruzione di un quadro storico generale più consapevole.

SUPERFICI DI RIEMANN - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/03 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Michael Mcquillan

Programma. Il gioiello (almeno prima del lavoro di Perelman) nella corona della geometria Riemanniana e (era) il teorema dell'uniformizzazione delle superfici di Riemann. Il corso dimostrerà il teorema per via del metodo del flusso di Ricci e svilupperà le conseguenze sia nel contesto classico sia per la topologia etale delle varietà algebriche.

Obiettivi di apprendimento. Impara matematica

Testi consigliati. "Riemann Surfaces", Ahlfors, L.V.; "Etale cohomology", Milne, J.S.

Modalità di esame. Prova orale

Program. The jewel (at least prior to Perelman) in the crown of Riemannian geometry is (was) the uniformisation theorem. The course will prove it using the method of Ricci flow and develop its consequences both classically and in the etale topology of algebraic varieties.

Learning objectives. To learn mathematics

Text books. "Riemann Surfaces", Ahlfors, L.V.; "Etale cohomology", Milne, J.S.

Exam mode. Oral exam

TEORIA DELLE RAPPRESENTAZIONI I - I Semestre - 8 CFU - settore MAT/02 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Martina Lanini

Programma. Introduzione alla teoria dei gruppi algebrici lineari. Più in particolare, si discuteranno elementi di geometria algebrica funzionali ai fine del corso; gruppi algebrici affini; spazi omogenei.

Obiettivi di apprendimento. Fornire conoscenze di base sulla teoria dei gruppi algebrici e familiarità con strumenti avanzati dell'algebra moderna.

Testi consigliati. Borel, A. Linear algebraic groups. Notes taken by Hyman Bass W. A. Benjamin, Inc., New York-Amsterdam 1969; Hartshorne, R. Algebraic geometry. Graduate Texts in Mathematics, No. 52. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1977; Humphreys, J.E. Linear algebraic groups. Graduate Texts in Mathematics, No. 21. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1975; Springer, T.A. Linear algebraic groups. Progress in Mathematics, 9. Birkhäuser, Boston, Mass., 1981.

Modalità di esame. Prova orale

Program. Introduction to the theory of linear algebraic groups. More precisely, we will discuss some background material in algebraic geometry; affine algebraic groups; homogeneous spaces.

Learning objectives. The aim of the course is to provide the student with a basic knowledge of the theory of algebraic groups, as well as familiarity with techniques in advanced modern algebra.

Text books. Borel, A. Linear algebraic groups. Notes taken by Hyman Bass W. A. Benjamin, Inc., New York-Amsterdam 1969; Hartshorne, R. Algebraic geometry. Graduate Texts in Mathematics, No. 52. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1977; Humphreys, J.E. Linear algebraic groups. Graduate Texts in Mathematics, No. 21. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1975; Springer, T.A. Linear algebraic groups. Progress in Mathematics, 9. Birkhäuser, Boston, Mass., 1981.

Exam mode. Oral exam

TEORIA DEI GIOCHI E PROGETTO DI RETI - I Semestre - 9 CFU - settore MAT/09 - 90 ore di lezione in aula

Prof. Paolo Oriolo

Programma. 1. Giochi in forma normale. Equilibri di Nash. Pareto ottimalità. Strategie debolmente e

strettamente dominanti. Strategie conservative. Payoff e preordini totali. 2. Un' applicazione delle strategie dominanti: i meccanismi di asta. Aste di primo prezzo e aste secondo prezzo (o di Vickrey). Un'applicazione degli equilibri di Nash: la legislazione di incidente. 3. Giochi antagonistici e a somma zero. Punti di sella ed equilibri di Nash per giochi a somma zero. Giochi strettamente competitivi. 4. Estensione in strategia mista di un gioco antagonistico. L'esistenza di un equilibrio nella strategia mista per i giochi antagonistico e valore del gioco. Il teorema di von Neumann. Bluff, underbid e poker di Kuhn. 5. I giochi cooperativi. Nucleo di un gioco. Il teorema di Bondareva-Shapley. I mercati con utilità trasferibile. Giochi semplici e valore di Shapley. 6. Giochi cooperativi con l'utilità non trasferibile. Il problema dell'house allocation. Il problema dello stable marriage. 7. Albero ricoprente di peso minimo: teoria e algoritmi esatti. Alberi di Steiner: teoria ed algoritmi risolutivi esatti ed approssimati. Algoritmo primale duale e meccanismi di cost sharing. Giochi con alberi di Steiner. 8. Facility location: teoria ed algoritmi risolutivi esatti ed approssimati. Doppio schemi primordiale. Algoritmo primale duale e meccanismi di cost sharing. Facility location games. 9. Routing and congestion games. Il paradosso Braess. Il prezzo dell'anarchia.

Obiettivi di apprendimento. Lo scopo di questo corso è quello di introdurre la teoria dei giochi e il progetto di reti. Diversi esempi di giochi, problemi su reti e giochi su reti saranno presentati e risolti per mezzo di tecniche di ottimizzazione, principalmente programmazione lineare e intera.

Testi consigliati. 1. An introduction to Game Theory. Martin J. Osborne; Oxford University press.

2. Algorithmic Game Theory. Edited by Noam Nisan, Tim Roughgarden, Eva Tardos, Vijay V. Vazirani; Cambridge University Press. 3. Approximation Algorithms. V.V. Vazirani; Springer. 4. Dispense a cura del docente.

Modalità di esame. Esame scritto

In presenza di studenti stranieri l'insegnamento sarà erogato in lingua inglese

Program. 1. Games in normal form. Nash equilibria. Pareto optimality. Weakly and strictly dominant strategies. Conservative strategies. Payoff and total preorders. 2. An application of dominant strategies: auction mechanisms. First price and second price (Vickrey) auctions. An application of Nash equilibria: law of accident. 3. Zero-sum games. Saddle points and Nash equilibria for zero-sum games. Strictly competitive games. 4. Extension in mixed strategy of a game. Existence of an equilibrium in mixed strategy for zero-sum games. Von Neumann's theorem. Bluff, underbid and Kuhn's poker. 5. Cooperative games. Core of a game. The theorem of Bondareva-Shapley. Markets with transferable utility. Shapley value. Simple games. 6. Cooperative games with nontransferable utility. The house allocation problem. The stable marriage problem. 7. Minimum spanning tree: theory and exact algorithms. Steiner trees: theory and approximate algorithms. Primal dual schemes. Cost sharing mechanisms. Steiner trees games. 8. Facility location: theory and exact approximate algorithms. Primal dual schemes. Facility location games. 9. Routing and congestion games. Braess paradox. The price of anarchy.

Learning objectives. The aim of this class is to introduce game theory and network design. Several examples of games, network problems and games on networks will be presented and solved by means of optimization techniques, mainly linear and integer programming.

Text books. 1. An introduction to Game Theory. Martin J. Osborne; Oxford University press.

2. Algorithmic Game Theory. Edited by Noam Nisan, Tim Roughgarden, Eva Tardos, Vijay V. Vazirani; Cambridge University Press. 3. Approximation Algorithms. V.V. Vazirani; Springer. 4. Lecture Notes

Exam mode. Written Exam

TEORIA DEI FIBRATI - II Semestre - 8 CFU - settore MAT/03 - 64 ore di lezione in aula

Prof. Mauro Nacinovich

Programma. Teoria generale dei fibrati: definizioni generali, fibrati vettoriali, fibrati principali. Fibrati associati ai gruppi classici e applicazioni al calcolo dell'omotopia. Elementi di K-Teoria. La periodicità di Bott. Algebre di Clifford e gruppi spinoriali. anelli di rappresentazione dei gruppi classici. Classi caratteristiche e connessioni.

Obiettivi di apprendimento. L'obiettivo del corso è quello di introdurre lo studente a nozioni e tecniche base di topologia e geometria differenziale e complessa utili in diversi settori della ricerca matematica.

Testi consigliati. D.Husemoller: Fibre Bundles (Third edition) New York, 1994

Modalità di esame. Prova orale

Program. General theory of bundles: general definitions, vector and principal bundles. Fibre bundles related to classical groups. Applications to homotopy. Basic of K-theory. Bott periodicity. Clifford algebras and spin groups. Representation rings of classical groups. Connections and characteristic classes.

Learning objectives. Introducing some basic topological, differential and complex- geometrical notions which are useful in different areas of mathematics.

Text books. D.Husemoller: Fibre Bundles (Third edition) New York, 1994

Exam mode. Oral exam

WEB MINING AND RETRIEVAL - II Semestre - 9 CFU - settore ING-INF/05 - 72 ore di lezione in aula

Prof. Roberto Basili

Programma. Sezione I: Machine Learning e Learning basato su kernel. Richiami. Metodi Supervised. Metodi probabilistici e generativi. Metodi Unsupervised. Clustering. Metriche di similarità semantica. Metodi agglomerativi. K-mean. Modelli Markoviani. Hidden Markov Models Kernel-based kernels. Kernel polinomiali e RBF. String Kernels. Tree kernels. Latent Semantic kernels. Semantic kernels. Applicazioni. Sezione II: Statistical Language Processing Supervised Language Processing tools. HMM-based POS tagging. Named Entity Recognition. Statistical parsing. PCFGs: Charniak parser. Modelli di Parsing Lessicalizzati. Shallow Semantic Parsing: kernel based semantic role labeling. Information Extraction. Sezione III: Web Mining & Retrieval. Modelli di ranking per il Web. Introduzione alla Social Network Analysis: rango, centralità. Modelli di random walk: Page Rank. Motori di ricerca. SEO. Google. Sistemi di Question Answering. Open-domain Information Extraction. Acquisizione di Conoscenza da Wikipedia. Social Web. Algoritmi su grafi per la community detection. Introduzione all'Opinion Mining e al Sentiment Analysis.

Obiettivi di apprendimento. Il Web è la più grande collezione di informazione in formato digitale attualmente disponibile in modo pubblicamente accessibile. Il corso affronta gli aspetti teorici e realizzativi che ne consentono lo sfruttamento, dai processi di indicizzazione, accesso e recupero di informazione alla acquisizione di conoscenza da grandi collezioni di dati distribuite geograficamente. Le finalità del corso sono di: Approfondire tematiche legate all'apprendimento automatico, presentando i metodi avanzati di induzione di conoscenza dai dati. Conoscere i diversi modelli utilizzati nei motori di ricerca per il WWW e nelle loro declinazioni semantiche (Semantic Enterprise Search). Conoscere le tecnologie avanzate di Intelligenza Artificiale applicata al Web, per il trattamento linguistico dei testi (Natural Language Processing) e sperimentarne la applicazione nei domini del Social Web in problemi

di Semantic document management, Link Analysis e Opinion Mining. Strumenti e tool per la progettazione di sistemi di Web retrieval basati su Machine Learning verranno resi disponibili durante il Corso in lezioni di laboratorio dedicate. In progetti dedicati verranno progettate e sperimentate piattaforme per task di Statistical Language Processing, Link Analysis ed Opinion Mining nell'ambito dei Web-based Content Management Systems.

Testi consigliati. Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan and Hinrich Schütze, Introduction to Information Retrieval, Cambridge University Press. 2008. Consultabile on-line C.M. Bishop "Pattern Recognition and Machine Learning" Springer, 2006. Roberto Basili, Alessandro Moschitti, Text Categorization: from Information Retrieval to Support Vector Learning, ARACNE Editore, 2005. Bing Liu, Web Data Mining: Exploring Hyperlinks, Contents, and Usage Data. 2nd Edition, July 2011, Springer. Note del docente e articoli scientifici distribuite durante il corso.

Modalità di esame. Esame completo (senza esoneri). Prova scritta con Test Risposta Multipla e Domande Aperte (90% della valutazione finale). Discussione orale di un progetto sperimentale (facoltativo) o un lavoro scientifico a scelta (10%)

Esame basato su esoneri. Esonero metà del Corso con Test Risposta Multipla e Domande Aperte (45% della valutazione finale). Esonero Finale con Test Risposta Multipla e Domande Aperte (45%) Discussione orale di un progetto sperimentale (facoltativo) o un lavoro scientifico a scelta (10%)

Per ulteriori informazioni si possono contattare i siti:

<http://uniroma2public.gomp.it/manifesti/render.aspx?UID=6b0da322-a74b-4995-9d00-975ab21181b1>

<http://www.mat.uniroma2.it/didattica/docenti1819.php>

<http://www.mat.uniroma2.it/didattica>