

Fisica Generale I – Modulo A

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria

Anno Accademico: 2025-2026

- Informazioni sul docente

Docente: Gennaro Miele

E-mail: gennaro.miele@unina.it

Pagina web: <https://www.docenti.unina.it/gennaro.miele>

- Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano/Inglese

Anno di corso: I

Periodo di svolgimento: 1° semestre

CFU: Numero 6

Ore 48

Insegnamenti propedeutici: Nessuno

- Contenuti

Competenze propedeutiche

Nessuna

- Obiettivi formativi

Il corso ha l'obiettivo di complementare i corsi di fisica generale I che gli studenti svolgono alla Federico II analizzando aspetti della fisica generale più

sofisticati e complessi passando dalla cinematica alla meccanica Lagrangiana nel più breve tempo possibile. Alla fine del corso lo studente avrà acquisito dimestichezza e gli strumenti atti a permettergli di risolvere problemi avanzati di fisica generale.

Programma

- Analisi Dimensionale
- Cinematica
- Tensori in Fisica
- Dinamica
- Moto dei Gravi con e senza attrito
- Moti Centrali
- Leggi di Conservazione
- Moti a massa variabile
- Approccio variazionale
- Meccanica Lagrangiana
- Meccanica Hamiltoniana
- Corpo rigido e tensore di inerzia

Materiale didattico

- Note del corso (disponibili su Teams)

Modalità di svolgimento

- 100% delle ore dedicate a lezioni frontali in forma ibrida con discussione in classe delle soluzioni di problemi posti.

Valutazione

- Esame orale
- Esame scritto (quesiti a risposta)

Fisica Generale I – Modulo B

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026*

- Informazioni sul docente

Docente: Micol Benetti

E-mail: m.benetti@ssmeridionale.it

Pagina web: <https://www.ssmeridionale.it/micol-benetti/>

- Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano/Inglese

Anno di corso: I

Periodo di svolgimento: 2° semestre

CFU: Numero 6

Ore 48

Insegnamenti propedeutici: Fisica Generale I – Modulo A

- Contenuti

Competenze propedeutiche

Nessuna

- Obiettivi formativi

Il corso è incentrato sul problem solving e su aspetti complementari rispetto a quelli introdotti nei corsi di fisica generale alla Federico II. Il programma

spazia dalla fluidodinamica alla termodinamica (inclusi aspetti di meccanica statistica). Alla fine del corso lo studente avrà acquisito dimestichezza e gli strumenti atti a permettergli di risolvere problemi avanzati di fisica generale.

Programma

- Introduzione alla fluidodinamica, equazione di Eulero
- Problema della vena contratta
- Trasformazioni Conformi e Fluidodinamica bidimensionale
- Problemi di flusso libero
- Concetto di portanza, teorie errate della portanza
- Introduzione alla termodinamica: concetto di calore
- Potenziali termodinamici e differenziali esatti
- Leggi della termodinamica
- Introduzione all'equazione del trasporto e distribuzione di Boltzman
- Relatività ristretta e paradossi
- Problema del razzo relativistico
- Moto uniformemente accelerato

Materiale didattico

- Note del corso (disponibili su Teams)

Modalità di svolgimento

- 100% delle ore dedicate a lezioni frontali in forma ibrida con discussione in classe delle soluzioni di problemi posti.

Valutazione

- Esame orale
- Esame scritto (quesiti a risposta)

SCHEDA INSEGNAMENTO

Complementi di Matematica

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Carlo Mantegazza – Modulo A

E-mail: carlo.mantegazza@unina.it

Docente: Pietro Baldi – Modulo B

E-mail: pietro.baldi@unina.it

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano

Anno di corso: I

Periodo di svolgimento: Modulo A – I Semestre
Modulo B – II Semestre

CFU: 12

Ore 96

Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Nessuna.

3.1. Obiettivi formativi

Capacità di utilizzare gli strumenti del calcolo differenziale e integrale nello studio di problemi scientifici.

3.2. Programma

1. Serie e successioni numeriche
2. Serie di potenze

-
3. Calcolo infinitesimale e differenziale
 4. Funzioni di più variabili
 5. Calcolo integrale
 6. Equazioni differenziali, teoria generale e analisi qualitativa
 7. Sistemi dinamici piani, linearizzazione, classificazione e stabilità degli equilibri, ritratto di fase
 8. Mappe discrete unidimensionali, biforcazione, sistemi caotici
 9. Teorema della funzione implicita, massimi e minimi condizionati
 10. Forme differenziali, lavoro, circuitazione. Calcolo integrale in più variabili, volume, area di una superficie. Flusso di un campo, rotore, divergenza, Teorema della divergenza, formula di Stokes

3.3. Materiale didattico

- F. Conti, "Calcolo. Teoria e applicazioni", McGraw-Hill, 1993.
- S. H. Strogatz, "Nonlinear dynamics and chaos", Perseus Books, 2014.
- R. L. Devaney, "An Introduction to Chaotic Dynamical Systems", Addison-Wesley Publ. Co., 1989.
- Note del corso (disponibili sul gruppo Teams relativo).

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 75% delle ore dedicate a lezioni frontali.
- 25% delle ore dedicate a esercitazioni in aula.

4.2. Valutazione

- Esame scritto (quesiti a risposta libera) e orale.

SCHEDA INSEGNAMENTO

Complementi di Fisica II, mod. A

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Luca Lista
E-mail: luca.lista@unina.it
Pagina web: <https://people.na.infn.it/~lista/>

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano, eventualmente inglese su richiesta degli studenti
Anno di corso: II
Periodo di svolgimento: 1° semestre
CFU: 6
Ore: 48
È modulo di un corso: Sì, di Complementi di Fisica II
Insegnamenti propedeutici: Raccomandati: Analisi I, Analisi II, Fisica I

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Calcolo differenziale ed integrale, calcolo vettoriale, algebra lineare, meccanica, meccanica analitica.

3.1. Obiettivi formativi

Elettrostatica classica avanzata a partire dall'elettrostatica e dalla magnetostatica fino alle onde elettromagnetiche, con metodi per la risoluzione dei principali problemi ad essa legata.

3.2. Programma

1. Strumenti matematici: introduzione ai campi vettoriali e scalari, coordinate curvilinee, e operatori differenziali come gradiente, divergenza e rotore. Teoremi di Gauss e Stokes e densità infinite tramite la delta di Dirac.
2. Interazioni elettrostatiche: studio della forza di Coulomb, del campo elettrico e delle distribuzioni di carica. Potenziale elettrostatico e teorema di Gauss con equazioni di Poisson e Laplace.
3. Conduttori e problemi del potenziale: teorema di unicità e metodo delle cariche immagine per risolvere equazioni di Poisson con condizioni al contorno.
4. Sviluppi in serie delle soluzioni dei problemi del potenziale: sviluppo in serie di Fourier e funzioni ortogonali; metodi per la separazione delle variabili.
5. Equazione di Laplace in coordinate sferiche e cilindriche: polinomi di Legendre, armoniche sferiche e funzioni di Bessel ed applicazioni per condizioni al contorno specifiche.
6. Soluzioni numeriche dell'equazione di Laplace (cenni): approcci numerici in coordinate cartesiane e cilindriche tramite approssimazione alle differenze finite.
7. Espansione multipolare: momenti di multipolo in coordinate cartesiane e sferiche.

Materiale didattico

- John David Jackson. Classical electrodynamics, 3rd edition. Wiley, New York, NY, 1998.
- Dispense del corso disponibili sul canale Teams

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 50% delle ore dedicate a lezioni frontali.
- 50% delle ore dedicate a esercitazioni in aula.

4.2. Valutazione

- Due prove intercorso che, se superate, consentono l'esonero dall'esame scritto. Le prove prevedono di svolgere esercizi con una scelta tra diverse tracce.
- Esame scritto per chi non supera le prove intercorso. L'esame prevede di svolgere esercizi con una scelta tra diverse tracce.
- Esame orale sugli argomenti svolti durante le lezioni.

SCHEDA INSEGNAMENTO

Complementi di Fisica II, mod. B

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Marco Chianese
E-mail: m.chianese@ssmeridionale.it
Pagina web: <https://www.ssmeridionale.it/marco-chianese/>

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano, eventualmente inglese su richiesta degli studenti
Anno di corso: II
Periodo di svolgimento: 2° semestre
CFU: 6
Ore: 48
È modulo di un corso: Sì, di Complementi di Fisica II
Insegnamenti propedeutici: Complementi di Fisica II, mod. A

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Analisi I, Analisi II, Fisica I, Fisica II.

3.1. Obiettivi formativi

A partire dalle equazioni di Maxwell, il corso offre una comprensione approfondita dell'elettromagnetismo e della teoria della relatività speciale. Si analizza la generazione e la propagazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto, si esplora il formalismo covariante del campo elettromagnetico e si studia l'emissione di radiazione da cariche in movimento accelerato.

3.2. Programma

1. Strumenti Richiami di magnetostatica
2. Campi elettrici e magnetici dipendenti dal tempo
3. Equazioni delle onde
4. Radiazione elettromagnetica
5. Meccanica relativistica
6. Formulazione covariante dell'elettrodinamica

Materiale didattico

- John David Jackson. Classical electrodynamics, 3rd edition. Wiley, New York, NY, 1998.
- Lev D. Landau e Evgenij M. Lifshits. Elettrodinamica dei mezzi continui.
- Dispense del corso disponibili sul canale Teams

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 50% delle ore dedicate a lezioni frontali.
- 50% delle ore dedicate a esercitazioni in aula.

4.2. Valutazione

- Due prove intercorso che, se superate, consentono l'esonero dall'esame scritto. Le prove prevedono di svolgere esercizi con una scelta tra diverse tracce.
- Esame scritto per chi non supera le prove intercorso. L'esame prevede di svolgere esercizi con una scelta tra diverse tracce.
- Esame orale sugli argomenti svolti durante le lezioni.

SCHEDA INSEGNAMENTO

Equazioni alle derivate parziali

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria

Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Carlo Nitsch

E-mail: c.nitsch@unina.it

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano

Anno di corso: II

Periodo di svolgimento: 2° Semestre

CFU: 4

Ore 32

Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Conoscenze basilari dei programmi di Analisi Matematica 1 e Analisi Matematica 2 dei corsi di studio in Matematica, Fisica o Ingegneria.

3.1. Obiettivi formativi

Conoscenze di base delle equazioni alle derivate parziali. Esistenza e buona positura per problemi iperbolici, parabolici ed ellittici, lineari con cenni al caso non lineare.

3.2. Programma

1. Derivazione di alcune delle equazioni alle derivate parziali provenienti dalla fisica classica.

1.1. Formulazione variazionale di alcune equazioni.

1.2. Classificazione delle equazioni alle derivate parziali.

-
2. Equazioni iperboliche. Buona positura dell'equazione delle onde su intervalli limitati e illimitati: metodo di D'Alembert e separazione delle variabili.
 3. Serie di Fourier: convergenza puntuale e convergenza uniforme, regolarità della serie.
 4. Equazioni paraboliche. Buona positura dell'equazione del calore su domini limitati e illimitati. Metodo della separazione delle variabili. Soluzione fondamentale dell'equazione del calore.
 5. Equazioni ellittiche.
 - 5.1. Funzioni armoniche, Teorema della media. Funzioni armoniche generalizzate. Teorema di regolarità per le funzioni armoniche.
 - 5.2. Funzione di Green del Laplaciano. Esistenza della funzione di Green. Costruzione esplicita della funzione di Green per domini specifici. Buona positura del problema di Poisson.
 6. Problema agli autovalori. Cenni al teorema spettrale per il laplaciano. Asintotica degli autovalori: counting function per domini rettangolari.
 7. Alcuni cenni alle equazioni non lineari.
 - 7.1. L'equazione di Burgers.
 - 7.2. L'equazione delle superfici minime.

3.3. Materiale didattico

- Walter A. Strauss - Partial differential equations. An introduction.
- A. N. Tikhonov, A. A. Samarskii - Equations of Mathematical Physics.
- S. L. Sobolev and A. J. Lohwater - Partial Differential Equations of Mathematical Physics.
- Y. Pinchover, J. Rubenstein - An Introduction to Partial Differential Equations.
- Note del corso (rese disponibili durante il corso sul canale Teams)

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 70% delle ore dedicate a lezioni frontali.
- 30% delle ore dedicate a esercitazioni in aula.

4.2. Valutazione

- Seminario su un tema concordato.

SCHEDA INSEGNAMENTO

Probabilità e Statistica

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria

Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Massimiliano GIORGIO
E-mail: massimiliano.giorgio@unina.it
Pagina web: Docenti.unina.it

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: ITALIANO
Anno di corso: II
Periodo di svolgimento: Gennaio 2025 – marzo 2025
CFU: 4
Ore: 32
È modulo di un corso: No
Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Conoscenze base di matematica

3.1. Obiettivi formativi

Il corso introduce lo studente alle nozioni fondamentali del calcolo delle probabilità, dell'analisi dei dati e dell'inferenza statistica e alle loro applicazioni. Al termine del corso lo studente sarà in grado di applicare i modelli probabilistici e i metodi statistici oggetto del corso per l'analisi e il controllo dei fenomeni non deterministici.

3.2. Programma

[1 CFU] Algebra degli eventi. Elementi di calcolo combinatorio. Definizioni di probabilità e criteri di calcolo. Probabilità condizionata. Indipendenza stocastica. Teorema delle probabilità totali. Teorema di Bayes. Applicazioni in campo scientifico e tecnologico. Variabili aleatorie. Distribuzioni di probabilità. Media, varianza e covarianza.

[1.5 CFU] Modelli di variabili aleatorie: bernoulliana, binomiale, geometrica, binomiale negativa, ipergeometrica, Poisson, uniforme, esponenziale, gamma e normale. Teorema del limite centrale. Trasformazioni di variabili aleatorie. Funzione generatrice dei momenti.

[1.5 CFU] Variabili chi- quadrato e t di Student, Distribuzione delle statistiche campionarie. Stima parametrica puntuale. Metodo dei momenti e della massima verosimiglianza. Stima parametrica per intervallo. Test delle ipotesi. Ipotesi nulla, ipotesi alternativa, errore di I specie, errore di II specie, livello di significatività e potenza di un test. Test su parametri di una singola popolazione. Test di adattamento.

3.3. Materiale didattico

- .Note del corso (disponibili nel gruppo teams del corso)
- P. Erto, Probabilità e statistica per le scienze e l'ingegneria 3/ed, McGraw-Hill. 2008.
- S. M. Ross, Probabilità e statistica per l'ingegneria e le scienze, 4/ed, Apogeo, 2023.

3.4. Insegnamento

- 80% delle ore dedicate a lezioni frontali.
- 20% delle ore dedicate a esercitazioni in aula.

3.5. Valutazione

- Esame orale

SCHEDA INSEGNAMENTO

Sistemi Dinamici

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Marco Coraggio
E-mail: marco.coraggio@unina.it
Pagina web: www.marco-coraggio.com

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano
Anno di corso: II
Periodo di svolgimento: Ottobre-Dicembre
CFU: 4
Ore: 32
Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Algebra lineare. Calcolo differenziale.

3.1. Obiettivi formativi

Gli studenti impareranno a sintetizzare modelli matematici di sistemi fisici semplici; apprenderanno strumenti metodologici per l'analisi qualitativa e quantitativa della dinamica dei sistemi dinamici lineari e non lineari, per caratterizzare proprietà quali il comportamento asintotico, stabilità e robustezza. Le conoscenze teoriche verranno compendiate dall'apprendimento di Matlab quale strumento di simulazione numerica.

3.2. Programma

1. Introduzione e rappresentazione dei sistemi dinamici.
2. Modellistica e simulazione di sistemi dinamici.

-
3. Esempi applicativi.
 4. Sistemi lineari nel dominio del tempo — analisi qualitativa; risposta libera e risposta forzata; soluzione completa; espansione modale; risposta a segnali canonici; equilibri e stabilità.
 5. Sistemi lineari nel dominio di Laplace e della frequenza — trasformate di Laplace e Fourier, e proprietà; funzioni di trasferimento; diagrammi a blocchi e regole di composizione; diagrammi di Bode; analisi in frequenza; filtri.
 6. Sistemi non lineari — linearizzazione; analisi qualitativa nel piano delle fasi; comportamenti asintotici; cicli limite; teoremi di stabilità; biforcazioni in tempo continuo; biforcazioni in tempo discrete; caos.

3.3. Materiale didattico

Note del corso.

Libro di testo principali:

- P. Bolzern, R. Scattolini, N. Schiavoni, "Fondamenti di Controlli Automatici", 4th ed., McGraw-Hill Education, 2015.
- S. H. Strogatz, "Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering", 3rd ed., CRC Press, 2024.
- H. K. Khalil, "Nonlinear Systems", 3rd ed., Prentice Hall, 2002.

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

Le lezioni avverranno in presenza. La maggior parte sarà dedicata alla teoria; parte minore sarà devoluta a esercizi e sessioni di dimostrative in Matlab.

4.2. Valutazione

- Progetto da svolgere a casa, in collaborazione, con redazione di documenti tecnici.
- Esame orale.

Il voto finale sarà il risultato della valutazione di tutte queste componenti.

SCHEDA INSEGNAMENTO

Complementi di geometria differenziale

*Corso di studi: Matematica, Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026*

1. Informazioni sul docente

Docente: alessandro zampini
E-mail: alessandro.zampini@unina.it
Pagina web: <https://www.docenti.unina.it/alessandro.zampini>

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: italiano
Anno di corso: IV
Periodo di svolgimento: II semestre
CFU: 6
Ore: 48
È modulo di un corso: No
Insegnamenti propedeutici: corsi di base di analisi matematica e geometria, introduzione alla geometria differenziale

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Competenze di base in analisi matematica, geometria, geometria differenziale

3.1. Obiettivi formativi

Lo scopo del corso è presentare i fondamenti degli spazi fibrati, e analizzare il formalismo geometrico della meccanica Lagrangiana e Hamiltoniana.

3.2. Programma

Richiami di geometria differenziale, analisi della geometria degli spazi fibrati vettoriali e principali. Connessioni e derivate covarianti, teorie di gauge. Formalismo Lagrangiano sul fibrato tangente ad uno spazio delle configurazioni. Fibrato cotangente, spazio delle fasi della meccanica classica. Formalismo simplettico e di Poisson, formulazione Hamiltoniana della meccanica classica. Teorema di Noether. Riduzione. Equazione di Hamilton-Jacobi.

3.3. Materiale didattico

- Riferimenti a manuali e articoli scientifici saranno forniti dal docente durante il corso

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 40 ore di lezioni frontali, 8 ore di lezioni seminariali.

4.2. Valutazione

- Discussioni di un elaborato su un tema concordato con il docente

SCHEDA INSEGNAMENTO

Introduzione all'Astrofisica e Laboratorio di Astronomia

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Nicola R. Napolitano

E-mail: n.napolitano@ssmeridionale.it,
nicolarosario.napolitano@unina.it

Pagina web: <https://www.docenti.unina.it/nicolarosario.napolitano>

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: English/Italian

Anno di corso: III/IV

Periodo di svolgimento: II

CFU: 6 CFU

Ore 48 ore

È modulo di un corso No

Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Mathematical Analysis 1 and 2, Mechanics and Thermodynamics, Optics.

3.1. Obiettivi formativi

The course introduces the fundamental physical mechanisms that govern the formation and evolution of astrophysical systems, with particular emphasis on stellar evolution. Students will also be trained in key observational techniques and data-analysis methods, enabling them to acquire measurements and observational evidence directly linked to the theoretical topics addressed throughout the course.

3.2. Programma

1. Sky observations. Basics of astronomical observations and image reduction (bias, flat-fielding, alignment). Measuring positions in the sky. Telescope mounts: alt-azimuthal vs. equatorial. Sky simulators (Stellarium) and source finding
2. Distances. Stellar parallaxes, parsec definition. Standard candles: Cepheids, Supernovae. The cosmic distance ladder.
3. Luminosity and Temperature of Astronomical Objects. Blackbody radiation. Flux, luminosity, and effective temperature. Magnitudes (apparent, absolute), distance modulus. Photometric systems. **Practical experience:** photometry of a globular cluster. This experiment focuses on the fundamental principles of photometry, with a particular emphasis on point-source measurements. It introduces the essential steps of astronomical image pre-calibration and the main properties of calibrated data. The session also presents several widely used software packages for image processing and photometric analysis
4. Motion and Masses of Astronomical Objects. Kepler's laws, virial theorem, solar system bodies, exoplanets. Binary systems: optical doubles, visual, astrometric, eclipsing, spectroscopic. Mass determination from binaries, mass function, and inclination effects.
5. Stellar Classification and Atmospheres. H-R diagram interpretation. **Practical experience:** Identification of Variable Sources Using photometric catalogs of a stellar cluster obtained at different epochs, students will correlate source measurements to identify candidate variables. For each candidate, the variability period will be estimated, a light curve will be constructed, and a preliminary classification of the variability type will be performed.
6. Statistical mechanics (Maxwell, Saha). Stellar atmospheres: effective/ionization/excitation temperatures. Opacity, radiative transfer,

limb darkening, photon escape timescales. Spectral line broadening: natural, Doppler, collisional, pressure.

7. Stellar Interiors and Energy Sources Hydrostatic equilibrium, mass conservation. Gas vs. radiation pressure. Stellar energy sources: gravitational contraction, chemical, nuclear. Fusion processes (pp-chain, CNO cycle, triple-alpha).
8. Energy transport: radiative vs. convective gradients. Stellar structure models: equations, polytropes, Lane-Emden solutions. Main sequence interpretation, Eddington luminosity.
9. Stellar Evolution. Solar internal structure, neutrinos, atmosphere, solar cycle, magnetic activity. Low- and intermediate-mass stellar evolution (RGB, HB, AGB, planetary nebulae). Massive star evolution and fates (WD, NS, BH). Supernovae: classification, mechanisms, light curves.
10. Stellar populations (Pop I, II, III), globular clusters, isochrone dating. Compact objects: degenerate matter, white dwarfs, Chandrasekhar limit, neutron stars.
Practical experience: Characterization of a Stellar Population Building on the catalogs produced in the previous session, participants will be guided through the process of performing photometric calibration and comparing the calibrated catalogs with theoretical models. The final outcome of the activity is the determination of the age and distance of the stellar cluster.
11. Milky Way, galaxies and extragalactic systems. Galaxy colours and relation with the stellar population.
Practical experience: Galaxy photometry and measurement of their total fluxes. This experiment focuses on the measurement of the total luminosity and colours of the extended sources and learn the difference with respect to the point-like sources.
12. Galaxy Kinematics and Dark matter. Active galactic nuclei.

3.3. Materiale didattico

- "An Introduction to Modern Astrophysics" - Bradley W. Carroll, Dale A. Ostlie, Second edition. Pearson Education Limited, 2014: ISBN: 1-292-02293-0, 978-1-292-02293-2 [CO]
- "To Measure the Sky. An Introduction to Observational Astronomy", Frederick R. Chromey, Cambridge University Press: ISBN-13 978-0-511-72954-6, 978-0-521-76386-8, 978-0-521-74768-4 [Ch]
- Teacher's slides

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 75% lectures.
- 25% practical experience

4.2. Valutazione

- Paper discussion
- Oral exam

SCHEDA INSEGNAMENTO

Introduzione alla Teoria del Controllo

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*

Anno Accademico: 2025-2026

Insegnamento aperto anche agli studenti di
dottorato

1. Informazioni sul docente

Docente: Mario di Bernardo

E-mail: mario.dibernardo@unina.it

Pagina web: <https://sites.google.com/site/dibernardogroup>

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione:

Anno di corso: IV, V

Periodo di svolgimento: 2° semestre

CFU: 6

Ore 60

È modulo di un corso No

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Algebra lineare, Equazioni differenziali ordinarie, Sistemi dinamici

3.1. Obiettivi formativi

Il corso introdurrà al concetto fondamentale di "**feedback**" (**retroazione**) nei sistemi dinamici e ai fondamenti matematici e fisici della Teoria del Controllo con applicazioni ingegneristiche.

La teoria del controllo è la "**Scienza del Feedback**" e la Teoria del Controllo una branca della Matematica Applicata che si colloca al confine tra la matematica e l'ingegneria. I suoi recenti sviluppi hanno reso possibile, ad esempio, l'implementazione di autopiloti sugli aerei, l'atterraggio di sonde interplanetarie automatiche su Marte, e la guida autonoma dei veicoli. Al giorno d'oggi, sono

sorte nuove sfide affascinanti che richiedono un'adeguata comprensione matematica: il controllo ibrido, il controllo della congestione di Internet, il controllo di sistemi multi-agente, le tecniche di controllo basate su machine learning, il controllo di sciame robotici, e la gestione intelligente delle reti elettriche sono solo alcuni esempi di recenti applicazioni della teoria del controllo che stanno trasformando la tecnologia moderna.

Questo corso ha lo scopo di introdurre ai **fondamenti matematici della Teoria del Controllo**. L'obiettivo del corso è quello di consentire di sviluppare nuove competenze e strumenti analitici rigorosi necessari per analizzare e progettare metodi per il controllo di sistemi dinamici sia lineari che non lineari.

Al termine del corso, gli studenti saranno in grado di utilizzare strumenti analitici appropriati per analizzare e controllare un dato sistema dinamico di interesse. In particolare, si affronterà come:

1. Analizzare la **controllabilità, l'osservabilità e la stabilizzabilità** di un sistema dinamico
2. Sviluppare **controllori di retroazione di stato** per modificare l'evoluzione di un sistema dinamico di interesse
3. Sintetizzare **osservatori** per stimare gli stati non direttamente misurabili di un sistema dinamico
4. Ottimizzare la progettazione del sistema di controllo per ridurre al minimo l'energia di controllo spesa o ottenere il controllo in un **tempo minimo**
5. Controllare la dinamica dei **sistemi dinamici non lineari** e sfruttare fenomeni come il caos e le biforcazioni per la progettazione innovativa di sistemi di controllo

3.2. Programma

1. Un'introduzione al controllo in retroazione nella scienza e nell'ingegneria
2. Ripasso dei concetti fondamentali dei Sistemi Dinamici necessari per il corso
3. Modellazione di sistemi di controllo
4. Stabilità e controllabilità dei sistemi di retroazione
5. Osservabilità e teoria dell'osservatore lineare
6. Forme canoniche di controllabilità e osservabilità
7. Controllo del feedback di stato e di uscita
8. Controllo Ottimo (principio minimo di Pontryagin, LQP ed Equazione di Riccati)
9. Elementi di controllo non lineare e controllo di sistemi multiagente

3.3. Materiale didattico

- Note del corso
- Feedback Systems: an introduction for Scientists and Engineers, K Astrom, R. Murray, Princeton University Press
- Primer on Optimal Control Theory, Speyer, Jacobson, SIAM Press
- Mathematical Control Theory, E. Sontag, Springer (more advanced)

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

L'insegnamento sarà erogato attraverso lezioni frontali.

4.2. Valutazione

L'esame consiste in un colloquio orale sugli argomenti del corso a partire dalla discussione di un caso di studio scelto dallo studente.

SCHEDA INSEGNAMENTO

Mathematical and Data Modelling

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docenti: Alessandro Della Pia;
Gian Carlo Maffettone;
Cinzia Tomaselli.

E-mail: a.dellapia@ssmeridionale.it; giancarlo.maffettone@unina.it;
c.tomaselli@ssmeridionale.it.

Pagina web: www.researchgate.net/profile/Alessandro-Della-Pia;
<https://sites.google.com/site/dibernardogroup/group/giancarlo-maffettone>;
<https://sites.google.com/site/dibernardogroup/group/cinzia-tomaselli?authuser=0>.

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Inglese

Anno di corso: III

Periodo di svolgimento: 1° semestre (ottobre 2025 – dicembre 2025)

CFU: 6 CFU

Ore: 48

È modulo di un corso: No

Insegnamenti propedeutici: Algebra e Geometria, Analisi Matematica II, Fondamenti di Informatica.

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

- Algebra lineare e analisi matematica

La comprensione di concetti come vettori, matrici, derivazione e integrazione ai fini dello sviluppo di modelli matematici per sistemi complessi.
Elementi di probabilità e statistica

- Programmazione e utilizzo di strumenti computazionali (ad es., Python, MATLAB)

Competenze in linguaggi di programmazione e software di calcolo ai fini dell'implementazione numerica dei modelli matematici.

3.1. Obiettivi formativi

L'obiettivo formativo principale è quello di fornire agli studenti una solida base nella modellazione matematica e nella risoluzione di problemi applicati a casi concreti di ingegneria o scienze applicate. Il corso coprirà paradigmi sia incentrati sui modelli che sui dati, in un'ottica interdisciplinare. Al termine del corso, gli studenti saranno in grado di:

1. modellare matematicamente una serie di problemi reali provenienti da ingegneria, fisica e scienze applicate;
2. effettuare ricerca, lettura e interpretazione di informazioni tecniche;
3. comprendere il ciclo della modellazione matematica: derivazione del modello, analisi, previsione/interpretazione, simulazione e perfezionamento iterativo;
4. identificare e applicare una serie di metodologie matematiche e computazionali appropriate quando si affrontano problemi nuovi e sconosciuti;
5. praticare lavoro di squadra e gestione del tempo;
6. presentare e interpretare i risultati matematici per un pubblico più ampio;
7. effettuare la redazione di relazioni tecniche.

3.2. Programma

Il corso ha l'obiettivo di integrare le conoscenze e le competenze degli studenti di matematica, fisica e ingegneria in ambito di modellazione matematica interdisciplinare, analisi dei dati e risoluzione di problemi applicati a situazioni reali nel campo della scienza e tecnologia applicata.

Il corso si concentra su casi studio motivanti e comprende 48 ore di lezione. Il caso studio è orientato all'analisi dei dati e all'utilizzo di tecniche di modellazione computazionale e analitica per analizzare e gestire sistemi complessi, sia da una prospettiva microscopica che macroscopica. Verranno esplorati anche i fondamenti della modellazione stocastica, quantificazione dell'incertezza e valutazione dei rischi. All'inizio, verranno

effettuate una serie di lezioni frontali con l'obiettivo di fornire agli studenti gli strumenti presentati agli studenti teorici e pratici della modellazione matematica e basata su dati. Successivamente, saranno assegnati agli studenti progetti reali, principalmente derivati da enti esterni, problemi di ricerca e scenari del mondo reale. Gli studenti saranno poi suddivisi in gruppi di 2-3 membri per lavorare su ciascun caso studio sotto la supervisione di un membro del corpo docente.

Durante il corso, gli studenti verranno formati nell'approccio alla risoluzione dei problemi e guidati nell'applicazione di specifiche metodologie di soluzione matematiche e computazionali dal docente supervisore. Al termine del progetto, ogni gruppo presenterà i propri risultati tramite una presentazione orale e consegnerà una relazione tecnica scritta.

3.3. Materiale didattico

Non esiste un set di libri di testo standard per questo corso. Ogni problema presentato sarà solitamente accompagnato da alcuni riferimenti. Tuttavia, gli studenti saranno incoraggiati a utilizzare internet per trovare eventuali informazioni tecniche mancanti non incluse nella presentazione del problema. Verranno inoltre forniti appunti delle lezioni ove necessario e ulteriore materiale sarà reso disponibile all'occorrenza. Alcune riferimenti sono elencati di seguito:

- Palacios, A. "Mathematical Modeling A Dynamical Systems Approach to Analyze Practical Problems", Mathematical Engineering, Springer;
- Hinze, M., Kutz, J. N., Mula, O., & Urban, K. "Model Order Reduction and Applications", Lecture Notes in Mathematics, Vol. 2328, 2023, Springer;
- LeVeque, R. J. (2002), "Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems", 2022, Cambridge University Press.
- Øksendal, Bernt. Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications. 6th ed. Berlin: Springer, 2013.

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 50% delle ore dedicate a lezioni frontali.
- 50% delle ore dedicate a esercitazioni in aula.

4.2. Valutazione

- Discussioni di un elaborato
- Esame orale

SCHEDA INSEGNAMENTO

Introduzione alla Meccanica Celeste

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026*

1. Informazioni sul docente

Docenti: Prof. Salvatore Capozziello, Dr. Marcello Miranda

E-mail: salvatore.capozziello@na.infn.it, m.miranda@ssmeridionale.it

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano

Anno di corso: 4

Periodo di svolgimento: 2° semestre

CFU: 6

Ore 48

Modulo di un corso: No

Insegnamenti propedeutici: Analisi 2; Fisica Matematica

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Analisi Matematica. Meccanica Newtoniana. Meccanica Lagrangiana e Hamiltoniana.

3.1. Obiettivi formativi

Conoscenza degli strumenti fondamentali della meccanica celeste classica, dalla meccanica Newtoniana alla formulazione Lagrangiana e Hamiltoniana applicata ai sistemi gravitazionali. Padronanza dei metodi analitici per lo studio delle orbite Kepleriane, del problema dei tre corpi (punti di Lagrange, stabilità orbitale) e delle tecniche perturbative per l'evoluzione secolare delle orbite.

3.2. Programma

1. Newtonian Mechanics (leggi di moto, problema dei due corpi)
2. Newtonian Gravity (potenziale gravitazionale, sfere e sferoidi)
3. Keplerian Orbits (leggi di Keplero, elementi orbitali, sistemi binari)
4. Orbits in Central Force Fields (orbite quasi-circolari, precessione)
5. Rotating Reference Frames (forza di Coriolis, maree, raggio di Roche)
6. Lagrangian Mechanics (coordinate generalizzate, equazioni di Lagrange)
7. Rigid Body Rotation (tensore d'inerzia, equazioni di Eulero, precessione terrestre)
8. Three-Body Problem (punti di Lagrange, stabilità)
9. Secular Perturbation Theory (evoluzione orbite planetarie e asteroidali)
10. Lunar Motion (moto lunare perturbato e imperturbato)

3.3. Materiale didattico

- *An Introduction to Celestial Mechanics*, R. Fitzpatrick, Cambridge University Press
- *Lectures on Celestial Mechanics*, C.L. Siegel e J.K. Moser, Springer
- *Solar System Dynamics*, C.D. Murray e S.F. Dermott Cambridge University Press
- *Meccanica Classica*, H. Goldstein, C. Poole e J. Safko, Zanichelli

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

L'insegnamento sarà erogato attraverso lezioni frontali.

4.2. Valutazione

L'esame consiste in un colloquio orale sugli argomenti del corso a partire dalla discussione di un caso di studio scelto dallo studente.

SCHEDA INSEGNAMENTO

Introduction to Statistical Mechanics

Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Dr. Filippo Contino

E-mail: f.contino@ssmeridionale.it;

Pagina web:

Docente: Dr. Pietro ConzINU

E-mail: p.conzinu@ssmeridionale.it;

Pagina web:

Docente: Dr. Marco de Cesare

E-mail: m.decesare@ssmeridionale.it; marco.decesare@na.infn.it;

Pagina web:

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano/Inglese

Anno di corso: IV/V

Periodo di svolgimento: 2° semestre

CFU: 6

Ore 48

È modulo di un corso No

Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Meccanica classica e termodinamica. Nozioni basilari sulla meccanica quantistica.

3.1. **Obiettivi formativi**

Al termine del corso, lo studente dovrà maturare una adeguata conoscenza degli aspetti fondamentali della fisica statistica classica e quantistica; analizzare modelli di transizione di fase e interpretare fenomeni collettivi nei sistemi quantistici a molte particelle.

3.2. **Programma**

1. Ensemble statistici
2. Statistica di Boltzmann e statistiche quantistiche
3. Condensazione di Bose-Einstein
4. Transizioni di fase, teoria di Landau-Ginzburg, rottura di simmetria
5. Superfluidità, superconduttività
6. Argomenti avanzati da concordare con gli studenti (tra cui gruppo di rinormalizzazione, termodinamica dei buchi neri, equazioni di Boltzmann e cenni su applicazioni alla storia termica dell'universo)

3.3. **Materiale didattico**

- K. Huang, *Meccanica Statistica*
- L.D. Landau, E. M. Lifshitz and L. P. Pitaevkij, *Fisica Statistica -- Parte prima*
- E. M. Lifshitz and L. P. Pitaevkij, *Fisica Statistica -- Parte seconda-- Teoria dello stato condensato*
- Luca Peliti, *Statistical Mechanics in a Nutshell*
- R. K. Pathria *Statistical Mechanics*
- Articoli scelti suggeriti a lezione

4. Modalità di svolgimento

4.1. **Insegnamento**

- 100% delle ore dedicate a lezioni frontali.

4.2. **Valutazione**

- Esame orale

SCHEDA INSEGNAMENTO

Processi Stocastici

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*

Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Giacomo Ascione
E-mail: g.ascione@ssmeridionale.it
Pagina web: pagina web

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano
Anno di corso: III/IV
Periodo di svolgimento: 1° semestre
CFU: 6 CFU
Ore: 48
È modulo di un corso: No
Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Nozioni di base di Calcolo delle Probabilità e di Topologia.

3.1. Obiettivi formativi

Conoscenza delle proprietà fondamentali dei processi stocastici a valori in spazi generali (non necessariamente Euclidei). Conoscenza delle proprietà dei Processi di Markov e del loro nesso con le equazioni differenziali. Abilità nell'uso di tali processi per determinare proprietà qualitative di modelli sia deterministici che stocastici.

3.2. Programma

1. Introduzione alla Teoria della Misura, con particolare attenzione al Teorema di Estensione di Kolmogorov.
2. Pavimentazioni particolari: insiemi analitici, coanalitici, spazi di Lusin, Souslin e coSouslin.
3. Universale misurabilità e spazi di Radon.
4. Definizione di Processo Stocastico, versione, modifica e processi indistinguibili.
5. Principali classi di processi stocastici e teoremi di esistenza: schemi di Bernoulli, processi Gaussiani, processi di Markov.
6. Proprietà di Markov in senso lato e rappresentazione dei processi Gaussiani Markoviani.
7. Proprietà di traiettorie dei processi stocastici: separabilità, misurabilità (Teoremi di Separabilità di Doob), assenza di discontinuità oscillatorie, continuità (Criterio di Kolmogorov-Chentsov).
8. Tempi d'arresto, tempi opzionali, tempi prevedibili. Test di Galmarino. Processi di Markov forte.
9. Martingale, continuità a destra di martingale e di processi di Markov forti.
10. Generatori di processi di Markov. Diffusioni ed equazione del calore.
11. Formula di Feynman-Kac
12. Introduzione rapida alle equazioni differenziali stocastiche e trasformata di Doob
13. Misure di Gibbs

Chiaramente, questo è un programma di massima che potrà subire variazioni o tagli dependentemente dalle necessità degli studenti.

3.3. Materiale didattico

- C. Dellacherie, P.A. Meyer, "Probabilities and Potential, Vol.1", Hermann, Paris, 1978.
- M. Sharpe, "General Theory of Markov Processes", Academic Press, 1988
- T. Tao, "An Introduction to Measure Theory", AMS Press, 2011
- A. Kechris, "Classical Descriptive Set Theory", Springer, 1995
- J.L. Doob, "Stochastic Processes", Wiley, 1990
- Note del corso (verranno caricate al termine di ciascuna lezione o unità didattica)
- Eventuali altri articoli verranno forniti durante il corso.

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 100% delle ore dedicate a lezioni frontali.

4.2. Valutazione

- Discussioni di un elaborato progettuale concordato con il docente

SCHEDA INSEGNAMENTO

Relatività Speciale

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*
Anno Accademico: 2025-2026

1. Informazioni sul docente

Docente: Francesco Bajardi
E-mail: f.bajardi@ssmeridionale.it
Pagina web:

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italiano
Anno di corso: III
Periodo di svolgimento: 1° semestre
CFU: 6
Ore: 48
È modulo di un corso: No
Insegnamenti propedeutici: Nessuno

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Meccanica Newtoniana. Meccanica Analitica/Razionale. Elettromagnetismo. Analisi Matematica. Geometria e Algebra Lineare

3.1. Obiettivi formativi

Il corso “Relatività Speciale” si focalizza sulle principali caratteristiche della teoria della relatività ristretta, valutando altresì le applicazioni ai fenomeni di diffusione, all’elettrodinamica classica e alla meccanica quantistica. In particolare, il corso si articola in cinque diverse fasi. Inizialmente verranno introdotte le trasformazioni di Lorentz e le applicazioni alla cinematica e meccanica relativistica; successivamente verranno analizzati i fenomeni di diffusione, come lo scattering Raileigh, lo scattering Compton (diretto e

inverso), l'effetto fotoelettrico e gli urti relativistici; verrà quindi presentata una trattazione dell'elettrodinamica classica da un punto di vista relativistico, per poi studiare le applicazioni della teoria alla meccanica quantistica; infine, dopo aver brevemente discusso alcuni concetti di geometria differenziale, si introdurranno le basi della relatività generale e della teoria classica dei campi.

3.2. Programma

1. Esperimento di Michelson e prove a supporto della relatività
2. Invarianza dell'intervallo, trasformazioni di Lorentz e implicazioni
3. Spazio-tempo di Minkowski, quadri-vettori, tensori e loro proprietà
4. Cinematica e meccanica relativistica dal punto di vista classico e lagrangiano
5. Fenomeni di diffusione e assorbimento
6. Tensore Energia-Impulso e sue proprietà
7. Elettrodinamica relativistica (invarianza di gauge, equazioni di Maxwell manifestamente covarianti, forza di Lorentz dalle equazioni del moto etc.)
8. Equazione d'onda relativistica e cenni di elettromagnetismo massivo
9. Equazioni di Klein-Gordon, Dirac e Pauli
10. Cenni di teoria classica dei campi (teoria ϕ^4 , campo di Higgs, rottura spontanea di simmetria etc.)
11. Trasformazioni di Foldy-Wouthuysen e Zitterbewegung
12. Introduzione alla relatività generale
13. Teorie di Gauge e applicazioni alla gravità

3.3. Materiale didattico

- Note fornite dal docente.
- M. Dapor, -" Teoria della Relatività," Zanichelli 2008, Bologna
- V. Barone – "Relatività – principi e applicazioni", Bollati boringhieri, 2004, Torino
- L. Landau, "Fisica Teorica II: Teoria dei Campi", Editori Riuniti Univ. Press, 2010
- W.G. Boskoff, S. Capozziello, -"A Mathematical Journey to Relativity," Springer 2020, Dordrecht S.
- Capozziello and M. Funaro –"Introduzione alla Relatività Generale", Liguori, 2005, Napoli

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

- 70% delle ore dedicate a lezioni frontali.
- 30% delle ore dedicate a esercitazioni in aula.

4.2. Valutazione

- Esame orale

Macroscopic quantum electrodynamics: superconducting circuits

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria
Anno Accademico: 2025-2026*

1. Informazioni sul docente

Docente: Giovanni Miano
E-mail: g.miano@ssmeridionale.it
Pagina web: <https://www.nanophotonics.it>

2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Italian, in English on student request.
Anno di corso: IV/V year
Periodo di svolgimento: II° semester
CFU: 6 CFU
Ore 48
Insegnamenti propedeutici: No

3. Contenuti

Competenze propedeutiche

Basis of Quantum Mechanics

3.1. **Obiettivi formativi**

Macroscopic quantum mechanics describe situations in which quantum effects, usually seen in atomic or subatomic realms, appear in macroscopic, large-scale objects. The course, starting from the fundamentals of quantum mechanics and classical electrical circuits, introduces the new paradigm of “quantum electrical circuit” that is at the basis of qubits that utilize Josephson junctions. Qubits are two-state quantum devices, the quantum version of the classical two-state devices that implement bits. They are the fundamental units of processors for quantum computing (IBM, Google, ...).

3.2. Programma

- 1) **Classical Electrical Circuits:** Lagrangian and Hamiltonian formulations, conjugate electrical variable pairs, Poisson brackets. Dissipation, Caldeira – Legget model, fluctuation – dissipation theorem.
- 2) **Quantum Electrical Circuits:** quantum state, measurement, from classical variables to operators, quantization and commutators. Schrödinger and Heisenberg Pictures. Quantum superconducting LC circuits. Dissipation. Entangled LC circuits.
- 3) **Superconducting Qubits:** Josephson junction. Transmon. Qubit. Bloch sphere. Entangled qubits.
- 4) **Quantum gates:** One-qubit gates, two-qubit gates.
- 5) **Qubit - cavity coupling:** dispersive read-out.
- 6) A glimpse to the **Shor algorithm** for finding the prime factors of an integer.

3.3. Materiale didattico

- Lecture Notes.
- Alessandro Ciani, David P. DiVincenzo, Barbara M. Terhal, *Lecture Notes on Quantum Electrical Circuits*, arXiv:2312.05329 [quant-ph], 2024.
- Yvonne Y. Gao, M. Adriaan Ro, Steven Touzard, and Chen Wang, *Practical Guide for Building Superconducting Quantum Devices*, PRX Quantum 2, 040202, 2021.
- U. Vool, M. Devoret, *Introduction to quantum electromagnetic circuits*, Special Issue on Quantum Technologies, International Journal of Circuit, Theory and Applications, 897-934, 2017.
- P. Krantz, M. Kjaergaard, F. Yan, T. P. Orlando, S. Gustavsson, and W. D. Oliver, *A quantum engineer's guide to superconducting qubits*, Appl. Phys. Rev. 6, 021318 (2019).
- A. M. Zagoskin *Quantum Engineering: Theory and Design of Quantum Coherent Structures*, Cambridge University Press, 2011.

4. Modalità di svolgimento

4.1. Insegnamento

Lectures

4.2. Valutazione

The final exam requires students to give an oral presentation on a course-related theme, which they can choose themselves, provided it receives prior approval from the instructor. Alternatively, if requested, the instructors can propose a theme to the students. The presentation can be done with the help of slides and will be followed by questions from the instructor which start from the presentation itself but can range over the entire course content.

Course title:

Differential Geometry

Duration [number of hours]: **24**

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: **MPHS**

Name and Contact details of unit organizer(s):

Dr. Alessandro Zampini

Affiliation(s): Dipartimento di Matematica ed Applicazioni "R. Caccioppoli", University of Naples "Federico II"

Email: alessandro.zampini@unina.it

Course Description [max 150 words]:

The aim of the course is to describe some aspect of classical mechanics within the framework of differential geometry.

Syllabus [itemized list of course topics]:

Smooth manifolds; Vector fields and differential forms, the exterior Cartan calculus; Lie groups and Lie algebras; Metric structures on a manifold; Vector bundles, Connections and Curvature; Lagrangian and Hamiltonian formalism, Noether theorem, Hamilton-Jacobi equations

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

The exam will consist in delivering a seminar on an advanced topic within differential geometry.

Suggested reading and online resources:

1. G. Rudolph, M. Schmidt, "Differential Geometry and Mathematical Physics I, II" -- Springer 2013
2. I. Kolar, P. Michor, J. Slovák, "Natural Operations in Differential Geometry" – Springer 1993
3. J. Lee, "Introduction to Smooth Manifolds" – Springer 2012
4. Lecture Notes

Course title:

Introduction to Complex Systems and Networks

Duration [number of hours]: **24** for main module A; **8** for advanced module B (optional)

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: **MERC**

Name and Contact details of unit organizer(s):

Name: Marco Coraggio
Affiliation(s): Scuola Superiore Meridionale
Website: <https://www.marco-coraggio.com>
Email: marco.coraggio@unina.it

Course Description [max 150 words]:

This course introduces the modeling, analysis, and control of complex and network systems, emphasizing how interactions among interconnected units give rise to collective behavior. Starting from graph-theoretic foundations, students learn algebraic tools to describe network structures and study their impact on dynamical processes such as diffusion, consensus, and synchronization. The course develops methods for linear and nonlinear network systems, including stability analysis, Lyapunov methods, and the master stability function. Advanced topics cover network controllability, pinning control, and adaptive coupling design. Practical exercises with Matlab illustrate theoretical concepts and provide hands-on experience with network simulations. By the end, students will be able to analyze and design network systems across physical, biological, and engineered domains.

After the main 24-h module, an *optional* advanced 8-h module will follow, focusing on the structure and dynamics of flow networks and oscillator network, and advanced network simulation in Matlab.

Syllabus [itemized list of course topics]:

Main module A (24 h)

- Graphs
- Algebraic graph theory
- Discrete-time and continuous-time averaging systems
- Linear diffusively coupled network systems
- Nonlinear network systems
- Collective behavior and convergence analysis tools
- Control of network systems
- Simulation and analysis in Matlab

Advanced module B (8 h, optional)

- Flow networks
- Oscillator networks

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

Discussion of project work to be handed in at the end of the course, plus oral assessment

Suggested reading and online resources:

F. Bullo, Lectures on Network Systems, Kindle Direct Publishing, 2020

M. Coraggio, D. Salzano, M. di Bernardo, "Controlling complex systems," Encyclopedia of Systems and Control Engineering. Springer, 2025.

Course title:

Introduction to Python

Duration [number of hours]: **24**

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: **MERC**

Name and Contact details of unit organizer(s):

Name: Cinzia Tomaselli

Affiliation(s): Scuola Superiore Meridionale, MERC

Website: <https://scholar.google.com/citations?user=ROEtQpAAAAAJ&hl=en>

Email: c.tomaselli@ssmeridionale.it

Course Description [max 150 words]:

This Unit provides an introduction to the fundamentals of Python programming. The course starts with the core concepts of procedural programming and gradually advances toward the use of complex libraries for machine learning. After presenting the basic syntax and structure of Python as well as the main ideas of procedural programming, students will move to object-oriented programming, gaining a clear understanding of classes, inheritance, and polymorphism. Building on these foundations, the course will introduce essential Python libraries such as NumPy, pandas, and scikit-learn, with practical examples showing their most relevant functions and applications. The unit will conclude with a practical project in which students will integrate the concepts learned throughout the course to solve a case study.

Syllabus [itemized list of course topics]:

• **Introduction to Python**

- Installing and setting up the environment (Python, IDE, Jupyter)
- Basic syntax, variables, data types, input/output

• **Control Structures and Functions**

- Conditionals (if, else, elif)
- Loops (for, while)
- Defining and using functions, parameters, scope, recursion

• **Data Structures**

- Lists, tuples, dictionaries, sets
- Basic operations and string manipulation

• **Files and Modules**

- Reading and writing text and CSV files
- Creating and importing modules
- Organizing code into packages

• **Object-Oriented Programming (OOP)**

- Classes, attributes, methods, constructors

- Inheritance and polymorphism

- **Scientific Libraries**

- **NumPy**: arrays, slicing, vectorized operations, broadcasting
- **pandas**: DataFrames, indexing, filtering, aggregation, merging datasets

- **Introduction to Machine Learning with scikit-learn**

- Datasets and preprocessing
- Training and validating supervised models (regression, classification)
- Model evaluation metrics

- **Final Project**

- Integration of OOP, data analysis, and machine learning in a practical case study

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

Final project to be handed-in

Suggested reading and online resources:

“Learning Python” – Mark Lutz (O’Reilly)

Course title:

Introduction to Reinforcement Learning and Data-Driven Control for Complex Systems

Duration [number of hours]: **24**

PhD Program: MERC

Name and Contact details of unit organizer(s):

Prof. Mirco Musolesi, UCL and University of Bologna (m.musolesi@ucl.ac.uk, <https://www.mircomusolesi.org>)

With seminar lectures by Prof. Giovanni Russo, University of Salerno (giovarusso@unisa.it, <https://sites.google.com/view/giovanni-russo>)

Course Description [max 150 words]:

This module introduces the key concepts of data-driven control and Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL). The first part of the module will be devoted to a short overview of Reinforcement Learning (RL) and DDC from the overarching framework of sequential decision making. We will then discuss the extensions of RL to MARL considering different classes of learning, including Online MARL, Co-evolutionary Learning, Swarm Intelligence and Adaptive Mechanism Design. Within the RL framework, the agent learns the task by interacting with an environment. The last part of the module will instead consider situations of practical interest where the task is known but the environment model is not. This leads to formalize the data-driven control problem and, for this problem, we will present a number of resolution methods that allow to solve data-driven control problems in a wide range of applications. Throughout the module, the methodological aspects will be complemented with a discussion on the corresponding computational methods and case studies will be used to illustrate the concepts. We will discuss recent research in MARL and DDC and we will outline the open challenges in this fascinating field.

Syllabus [itemized list of course topics]:

1. Introduction to sequential decision-making: mathematical formulation, key ingredients, historical perspective;
2. The dynamic programming algorithm, value functions, value-based algorithm: examples including Q-learning
3. Policy-based RL: examples, including REINFORCE (with tutorial)
4. Deep Learning: Applications of Deep Learning to Reinforcement Learning
5. DQN and Policy-based methods based on RL
6. Introduction to multi-agent systems and multi-agent RL: Alternative learning paradigms for multi-agent systems
7. MARL algorithms: theoretical and implementation-oriented aspects.
8. Studying cooperation and competition in human, artificial and hybrid societies using ML/RL.
9. Entropic-regularized data driven control and learning

Assessment

Presentation and discussion of a research paper

Suggested reading and online resources:

1. Kevin Leyton-Brown and Yoav Shoham. Multiagent Systems, Game-theoretic and Logical Foundations. Cambridge University Press. 2009.
2. Karl Tuyls and Gerhard Weiss. Multiagent Learning: Basics, Challenges and Prospects. AI Magazine. Volume 33. Issue 3. 2012.

3. Karl Tuyls and Peter Stone. Multiagent Learning Paradigms. In Francesco Belardinelli and Estefania Argente, editors. Multi-agent Systems and Agreement Technologies. LNAI Pages 3-21. Springer 2018.
4. OpenAI. Key papers in Deep RL. <https://spinningup.openai.com/en/latest/spinningup/keypapers.htm>
5. N. Matni, A. Proutiere, A. Rantzer, S. Tud, "From self-tuning regulators to reinforcement learning and back again" (available at: <https://arxiv.org/pdf/1906.11392.pdf>)
6. Richard S. Sutton and Andrew G. Barto. Reinforcement Learning: An Introduction.
7. D. Bertsekas, J. Tsitsiklis, "Neuro-dynamic programming" (<http://www.athenasc.com/ndpbook.html>)
8. D. Gagliardi, G. Russo, "On a probabilistic approach to synthesize control policies from example datasets" (<https://arxiv.org/abs/2005.11191>)
9. G. Russo, "On the crowdsourcing of behaviors for autonomous agents" (<https://arxiv.org/abs/2010.04608>)
10. S. Levine, A. Kumar, G. Tucker, J. Fu, "Offline Reinforcement Learning: tutorial, review and perspectives on open problems" (<https://arxiv.org/abs/2005.01643>)
11. E. Garrabè, G. Russo, "Probabilistic design of optimal sequential decision-making algorithms in learning and control" (<https://arxiv.org/abs/2201.05212>)

Course title:

Numerical methods for Data Mining and Machine Learning for Complex Systems

Duration [number of hours]: **24**

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: **MERC**

Name and Contact details of unit organizer(s):

Prof. Constantinos Siettos

Affiliation(s): Dipartimento di Matematica e Applicazioni "Renato Caccioppoli"

Email: constantinos.siettos@unina.it

Course Description [max 150 words]:

The course of the Numerical methods for Data Mining and Machine Learning aims at giving to the students the necessary theoretical and numerical analysis and scientific computing background on various mathematical and numerical analysis methods for dimensionality reduction, modelling of the dynamics of complex nonlinear large-scale models and the solution of the forward and inverse problem in complex systems with scientific machine learning with a wide range of applications (Fluid Dynamics, socioeconomic, neuroscience, epidemiology, finance, Crowd dynamics).

Syllabus [itemized list of course topics]:

- A. Matrix algebra for the numerical analysis of complex systems with an emphasis on matrices of large dimensionality, and the solution of matrix equations for the data mining.
 - The fundamental theorem of linear algebra. Least squares estimation. The problem of regularization.
- B. The problem of manifold learning/ data embedding
 - SVD, PCA, MDS, Kernel PCA, ISOMAP, Diffusion Maps
 - The Solution of the Pre-image Problem
- C. Modelling and Numerical Methods for the approximation and analysis of stochastic Big-data
 - The General Linear Model and the Gauss Markov Theorem. Uncertainty quantification
 - The Dynamic Mode Decomposition method and the Koopman operator theory
- D. Analysis of Complex Systems, Forward and Inverse Problems for systems modelled via Differential Equations
 - Physics Informed Neural Networks
 - The Equation-Free and Next Generation Equation-Free multiscale framework for the analysis of multiscale complex systems

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

This will be a hands-one course where the students will develop their own numerical algorithms to model the and solve large-scale complex problems. The assessment and cores will be based on the set of assignments given during the course and a final oral exam.

Suggested reading and online resources:

1. Wang, J., Geometric Structure of High-Dimensional Data and Dimensionality Reduction, Springer-Verlag, 2012
2. Karlin, S., An introduction to Stochastic Modelling, Academic Press, 1998.
3. Notes and papers given to the students.

Course title:

Numerical treatment of PDEs

Duration [number of hours]: 24

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: MPS

Name and Contact details of unit organizer(s):

Prof. Francesco Calabrò

Affiliation(s): Dipartimento di Matematica e Applicazioni “Renato Caccioppoli”

Website: <https://www.docenti.unina.it/francesco.calabro>

Email: Francesco.calabro@unina.it

Course Description [max 150 words]:

Aim of this course is to introduce the basic theory for the numerical approximation of partial differential equations. A review on existing methods is given, then focus is on the treatment of elliptic linear problems with the Finite Element Methods.

Also, some insights on the treatment of time derivatives for parabolic and hyperbolic problems is given. Matlab and FreeFem coding are introduced and used during all the course.

Syllabus [itemized list of course topics]:

- Introduction on PDEs and numerical approaches for the discretization. Abstract formulation. Hilbert spaces, Riesz representation theorem, Lax-Milgram
- Essential notions on Sobolev spaces. Variational formulation, Ritz-Galerkin method, Cea lemma. Weak formulation of elliptic problems: derivation of models, treatment of both essential and natural boundary conditions.
- Galerkin-Finite Elements Methods. Conformal methods, meshing, the choice of the finite element. The Lagrangian Elements on triangularizations.
- Interpolation error: definition of the interpolator; Deny-Lions theorem; related finite elements and reference element. Global estimate. Best approximation properties of Galerkin methods in the symmetric case: strain energy, potential energy, numerical stiffness, discrete eigenvalues.
- Error estimate in the Poisson case both in norm H^1 and L^2 (Aubin-Nitsche).
- The structure of a finite element code. Meshing and change of variables in the reference domain. Local construction and global assembly.
- Matrix description of Finite Element Method, quadrature issues. First Strang lemma and quadrature error analysis. Patch test for non-conformal approximations.
- Stokes Equation: saddle point formulation. Primal mixed and dual mixed methods for the Poisson equation. Existence of solutions. Mixed finite element methods: inf-sup condition for the Babuška–Brezzi theorem.
- An introduction to the Isogeometric method.

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

Projects will be proposed during the course, along with some insights from books or recent literature.

Suggested reading and online resources:

Suggested books:

1. S. Brenner & L. Scott "The Mathematical Theory of Finite Element Methods", Springer 2008
2. A. Quarteroni "Numerical models for differential problems ", Springer 2016
3. T. Hughes "The finite Element Method", Dover 1987Book 2

Course title:

Probability calculus and elements of stochastic modelling

Duration [number of hours]: **24**

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: **MERC**

Name and Contact details of unit organizer(s):

Name: Nicola Esposito

Affiliation(s): Scuola Superiore Meridionale

Website: <https://www.ssmeridionale.it/modeling-and-engineering-risk-and-complexity-merc/>

Email: n.esposito@ssmeridionale.it

Course Description [max 150 words]:

The objective of the course is to provide the students with the fundamentals of probability calculus and (few) elements of stochastic modelling, as well as with their use in the engineering field and science. Starting from the basics of probability theory, the course will cover elements of statistical theory such as point/interval estimation, confidence intervals, hypothesis testing, p-value, as well as elements of stochastic modelling such as commonly-used random variables models, basics of Markov chains, and Poisson processes. The lectures will be much more focused on the application aspects. For this reason, the students are required to form small teams of 2/3 people and work on assignments that will be given throughout the course. The solutions to the assignments will be discussed during the lectures. The assignments will also require the students to work on Matlab (or R, Python, depending on their preference). On successful completion of the course, the students are expected to obtain the necessary knowledge in stochastic and probabilistic models to apply them and develop new methods in the applicative domains of their interest.

Syllabus [itemized list of course topics]:

- Probability: events, axioms, conditional probability, Bayes theorem
- Random variables: discrete and continuous pmf/pdf, common distribution (Bernoulli, Binomial, etc)
- Joint and conditional distributions, conditional expectation
- Law of large numbers, central limit theorem.
- Sampling distribution of mean and variance, point and interval estimation, confidence interval.
- Hypothesis and variance testing: Type I/II errors, p-values, one-way ANOVA.
- Stochastic processes: Poisson, Renewal, gamma, and their engineering applications.

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

Combined assessment: two in-course assignment (amounting each for 30% each of the final mark), followed by a final exam in the form of a project, amounting for the remaining 40%.

Suggested reading and online resources:

- Ross, Sheldon. *Introduction to Probability Models*. 11th ed. San Diego: Academic Press, 2014.
- Ross, Sheldon. *Stochastic processes*. 2nd Edition. New York, John Wiley & Sons, 1996.

Course title:

Quantitative Risk Analysis

Duration [number of hours]: **24**

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: **MERC**

Name and Contact details of unit organizer(s):

Name: Pasquale Cito¹ Iunio Iervolino^{1,2},
Affiliation(s): ¹University of Naples Federico II, ²University of Pavia
Website: <https://www.docenti.unina.it/pasquale.cito>
<http://wpage.unina.it/iuniervo/>
Email: pasquale.cito@unina.it, iunio.iervolino@unina.it

Course Description [max 150 words]:

The objective of the course is to provide the students with the fundamentals of quantitative risk analysis of systems exposed to natural and man-made hazards. Starting from seismic risk analysis, other risks will be discussed, such as those related to wind and fire. After recalling the basics of probability theory, the framework for quantifying losses will be introduced. Then, hazard, vulnerability and exposure assessment will be discussed. Lectures will be focused on both theory and applications. Students will be required to work on assignments dealing with risk analysis problems, the solution to which will be discussed during classes. Also, students will be required to work with Matlab (or Excel, depending on their preference). The course consists of twelve lessons of two hours each. On successful completion of the course, students are expected to acquire the basic knowledge in risk analysis, which can be used in their research field, if needed.

Syllabus [itemized list of course topics]:

- Basics of probability theory
- Quantification of expected losses
- Hazard assessment
- Vulnerability assessment and consequences

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

Students will engage in a series of homework consisting on problems designed to apply the concepts given during class sessions. At the end of the course, each student will be given with a vote, which will be determined based on the problem solutions developed in each homework.

Suggested reading and online resources:

Benjamin, J. R., & Cornell, C. A. (2014). Probability, statistics, and decision for civil engineers. Courier Corporation.
Iervolino, I. (2021). Dinamica delle strutture e ingegneria sismica: Principi e applicazioni. HOEPLI EDITORE (In Italian).
Additional references will be given during the lectures.

Course title:

Stochastic differential equations and singular stochastic control

Duration [number of hours]: **24**

PhD Program [MERC/MPS/SPACE]: **MERC**

Name and Contact details of unit organizer(s):

Name: Tiziano De Angelis
Affiliation(s): University of Turin
Website: <https://sites.google.com/site/tizianodeangelis>
Email: tiziano.deangelis@unito.it

Course Description [max 150 words]:

Stochastic differential equations and singular stochastic control may occur in problems arising from several research fields outside mathematics. The objective of the course is to provide a self-contained introduction to the subject for non-experts and a selection of tractable problems.
On successful completion of the course, the students are expected to acquire the essential skills needed to formalize new stochastic control problems in the applicative domains of their interest.

Syllabus [itemized list of course topics]:

- 1) Brownian motion and stochastic calculus: probability spaces, continuous time stochastic processes, Brownian motion, construction of the Ito integral, the Ito formula.
- 2) Stochastic differential equations and PDE's: stochastic differential equations, the generator of an Ito diffusion, connection with PDE's.
- 3) Singular stochastic control and connections with optimal stopping: controlled diffusion processes, dynamic programming, the Hamilton-Jacobi-Bellman equation, free boundary problem. Verification theorems. Applications in finance, economics, science.

Assessment [form of assessment, e.g., final written/oral exam, solutions of problems during the course, final project to be handed-in, etc.]:

Homework and final project with oral presentation of results

Suggested reading and online resources:

1. B. Øksendal, 2003. Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications, Springer-Verlag Heidelberg New York
2. H. Pham, 2009. Continuous-time Stochastic Control and Optimization with Financial Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg