

SCHEDA INSEGNAMENTO

# Complementi di Matematica

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria*  
*Anno Accademico: 2024-2025*

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Carlo Mantegazza – Modulo A

E-mail: [carlo.mantegazza@unina.it](mailto:carlo.mantegazza@unina.it)

Docente: Pietro Baldi – Modulo B

E-mail: [pietro.baldi@unina.it](mailto: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.

# Fisica Generale I – Modulo A

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria  
Anno Accademico: 2024-2025*

- Informazioni sul docente

Docente: Gennaro Miele

E-mail: [gennaro.miele@unina.it](mailto: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**

- **Insegnamento**

- 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

## **Fisica Generale I – Modulo B**

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria  
Anno Accademico: 2024-2025*

- Informazioni sul docente

Docente: Massimo Taronna

E-mail: massimo.taronna@unina.it

Pagina web: <https://www.docenti.unina.it/massimo.taronna>

- 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
- Onde del mare e velocità limite nelle navi
- 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
- Equazione di Sackur-Tetrode e Entropia come logaritmo del numero di stati di un sistema
- Ensemble e introduzione alla Meccanica Statistica
- Relatività ristretta e paradossi
- Problema del razzo relativistico
- Moto uniformemente accelerato
- Lagrangiana della particella relativistica.
- 

- **Materiale didattico**

- Note del corso (disponibili su Teams)

- **Modalità di svolgimento**

- **Insegnamento**

- 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 Fisica II, mod. A

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria*  
*Anno Accademico: 2024-2025*

- Informazioni sul docente

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

- Informazioni generali

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

- Contenuti

*Competenze propedeutiche*

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

- 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.

- **Programma**

- 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.
- 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.
- Conduttori e problemi del potenziale: teorema di unicità e metodo delle cariche immagine per risolvere equazioni di Poisson con condizioni al contorno.
- Sviluppi in serie delle soluzioni dei problemi del potenziale: sviluppo in serie di Fourier e funzioni ortogonali; metodi per la separazione delle variabili.
- Equazione di Laplace in coordinate sferiche e cilindriche: polinomi di Legendre, armoniche sferiche e funzioni di Bessel ed applicazioni per condizioni al contorno specifiche.
- Soluzioni numeriche dell'equazione di Laplace (cenni): approcci numerici in coordinate cartesiane e cilindriche tramite approssimazione alle differenze finite.
- Espansione multipolare: momenti di multipolo in coordinate cartesiane e sferiche.

- **Materiale didattico**

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

- **Modalità di svolgimento**

- **Insegnamento**

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

- **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: 2024-2025*

- Informazioni sul docente

Docente:	Ninetta Saviano
E-mail:	nsaviano@na.infn.it
Pagina web:	pagina web

- Informazioni generali

Lingua di erogazione:	Italiano
Anno di corso:	II
Periodo di svolgimento:	2 <sup>^</sup> semestre
CFU:	6
Ore	48
Insegnamenti propedeutici:	Modulo A dello stesso corso al primo semestre

- Contenuti

*Competenze propedeutiche*

Analisi I e II, Fisica I e II

- 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.

- Programma

- Richiami di Magnetostatica
- Campi elettrici e magnetici dipendenti dal tempo

SCHEDA INSEGNAMENTO

# Equazioni alle derivate parziali

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria*

*Anno Accademico: 2024-2025*

## 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: 2024-2025*

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Massimiliano GIORGIO  
E-mail: [massimiliano.giorgio@unina.it](mailto:massimiliano.giorgio@unina.it)  
Pagina web: [Docenti.unina.it](http://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: 2024-2025

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Marco Coraggio  
E-mail: [marco.coraggio@unina.it](mailto:marco.coraggio@unina.it)  
Pagina web: [www.marco-coraggio.com](http://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 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. Gli studenti impareranno altresì a sintetizzare modelli matematici di sistemi fisici semplici, impostare problemi di controllo e progettare e tarare semplici controllori. 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
    - 4.1. Analisi qualitativa
    - 4.2. Evoluzione libera e risposta forzata
    - 4.3. Soluzione completa
    - 4.4. Espansione modale
    - 4.5. Risposta a segnali canonici
    - 4.6. Equilibri e stabilità
  5. Sistemi lineari nel dominio di Laplace e della frequenza
    - 5.1. Trasformate di Laplace e Fourier, e proprietà
    - 5.2. Funzioni di trasferimento
    - 5.3. Diagrammi a blocchi e regole di composizione
    - 5.4. Diagrammi di Bode
    - 5.5. Analisi in frequenza
  6. Sistemi non lineari
    - 6.1. Linearizzazione
    - 6.2. Analisi qualitativa nel piano delle fasi,
    - 6.3. Comportamenti asintotici
    - 6.4. Cicli limite
    - 6.5. Biforcazioni in tempo continuo
    - 6.6. Biforcazioni in tempo discreto
    - 6.7. Caos
  7. Elementi di teoria del controllo
    - 7.1. Progettazione di un sistema di controllo
    - 7.2. Controllori PID e taratura automatica

### 3.3. Materiale didattico

Libro di testo principali:

- Karl J. Åström and Richard M. Murray, "Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers", 2a edizione, Princeton University Press, 2021. ISBN: 978-0691193984
- Paolo Bolzern, Riccardo Scattolini, Nicola Schiavoni, "Fondamenti di controlli automatici", 4a edizione, McGraw-Hill Education, 2015, ISBN: 978-8838668821
- Giovanni Celentano, Laura Celentano, "Fondamenti di Dinamica dei Sistemi", 2010
- Hassan K. Khalil, Nonlinear systems, 3rd ed. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2002.
- Mathukumalli Vidyasagar, Nonlinear systems analysis, 2nd ed. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 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

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

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

SCHEDA INSEGNAMENTO

# Introduzione alla Teoria Geometrica della Misura

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*  
Anno Accademico: 2024-2025

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Nicola Fusco

E-mail: n.fusco@unina.it

## 2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Lingua

Anno di corso: 3 o 4

Periodo di svolgimento: Primo semestre

CFU: 6

Ore 48

Insegnamenti propedeutici: Analisi 1 e 2, Geometria 1 e 2

## 3. Contenuti

### *Competenze propedeutiche*

Conoscenza dei contenuti dei corsi di Analisi Matematica 1 e 2, dell'Algebra Lineare e della Topologia.

### 3.1. **Obiettivi formativi**

Partendo dalle nozioni di base di teoria della misura il corso arriva a presentare i risultati fondamentali della teoria della misura, quali le formule di area e di coarea e le proprietà di base degli insiemi rettificabili.

### 3.2. **Programma**

Misure esterne, insiemi misurabili e funzioni misurabili. L'integrale di Lebesgue. Teoremi di passaggio al limite sotto il segno di integrale. Il criterio di Carathéodory. Misure di Borel e di Radon. Misure prodotto. Il Teorema

---

di Fubini-Tonelli. La misura di Hausdorff.  $H^n=L^n$ . Il Teorema di ricoprimento di Vitali. Il Teorema di ricoprimento di Besicovitch. Derivate di misure. Il Teorema di decomposizione di Lebesgue-Besicovitch. Punti di Lebesgue di una funzione. Funzioni assolutamente continue. Funzioni lipschitziane: il Teorema di Rademacher. Jacobiani. La formula dell'area per mappe lineari. La formula dell'area in  $R^n$ . La formula di coarea in  $R^n$ . Funzionali lineari e continui sullo spazio delle funzioni continue a supporto compatto. Il Teorema di rappresentazione di Riesz. Misure reali e vettoriali. Convergenza debole\* di misure. Il Teorema di compattezza per la convergenza debole\*. Il prodotto di convoluzione. Mollificatori. Il Teorema della divergenza. Insiemi  $H^k$ -rettificabili. Piano tangente approssimato. Grafici lipschitziani. Criteri di rettificabilità. Le formule dell'area e di coarea su insiemi  $H^k$ -rettificabili. Il Teorema di estensione di Tietze. Il Teorema di estensione di Whitney.

### 3.3. Materiale didattico.

Note fornite dal docente.

## 4. Modalità di svolgimento

### 4.1. Insegnamento

- Lezioni frontali
- Esercizi da svolgere a casa

### 4.2. Valutazione

- Esame orale

SCHEDA INSEGNAMENTO

# Relatività Speciale

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*  
Anno Accademico: 2024-2025

## 1. Informazioni sul docente

Docente Francesco Bajardi

E-mail: f.bajardi@ssmeridionale.it

Pagina <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=mXvmJZ0AA>  
web: AAJ

## 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 Classica, Meccanica Quantistica, Meccanica Razionale, Analisi Matematica I

### 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) e l'effetto fotoelettrico; 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. Il corso ha l'obiettivo di fornire allo studente conoscenze di meccanica relativistica e applicazioni. Al termine del corso lo studente deve essere in grado di risolvere problemi di meccanica e elettrodinamica relativistica, nonché di padroneggiare il formalismo covariante e le nozioni basilari di geometria differenziale e calcolo tensoriale.

### 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, quadrivettori, tensori e loro proprietà
4. Cinematica e meccanica relativistica dal punto di vista classico e lagrangiano
5. Fenomeni di diffusione e assorbimento
6. Elettrodinamica relativistica (invarianza di gauge, equazioni di Maxwell manifestamente covarianti, forza di Lorentz dalle equazioni del moto etc.)
7. Equazione d'onda relativistica e cenni di elettromagnetismo massivo
8. Equazioni di Klein-Gordon, Dirac e Pauli
9. Cenni di teoria classica dei campi (teoria  $\phi^4$ , campo di Higgs, rottura spontanea di simmetria etc.)
10. Trasformazioni di Foldy-Wouthuysen e Zitterbewegung
11. Introduzione alla relatività generale

### 3.3. Materiale didattico

- Note del docente
- M. Dapor, "Teoria della relatività", Zanichelli, 2008.
- V. Barone, "Relatività: principi e applicazioni", Bollati Boringhieri, 2004
- L. Landau, "Fisica Teorica II: Teoria dei Campi", Editori Riuniti Univ. Press, 2010

## 4. Modalità di svolgimento

### 4.1. Insegnamento

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

---

## 4.2. Valutazione

- Esame orale

SCHEDA INSEGNAMENTO

# Analisi Complessa

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*  
Anno Accademico: 2024-2025

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Francesco Polizzi

E-mail: [francesco.polizzi@unina.it](mailto:francesco.polizzi@unina.it)

## 2. Informazioni generali

Lingua di erogazione:	Italiano
Anno di corso:	Laurea Triennale/Magistrale
Periodo di svolgimento:	2° Semestre
CFU:	6
Ore	48
Insegnamenti propedeutici:	Nessuno

## 3. Contenuti

### *Competenze propedeutiche*

Il corso sarà, per quanto possibile, auto-contenuto. Risulteranno utili le conoscenze fornite dai corsi di Analisi 1, Analisi 2, Geometria 1 e Geometria 2.

### 3.1. Obiettivi formativi

Il corso si pone l'obiettivo di fornire le conoscenze di base dell'Analisi Complessa in una variabile.

### 3.2. Programma

1. Numeri complessi
2. Derivate complesse e funzioni olomorfe
3. Funzioni elementari
4. Funzioni lineari fratte e gruppo di Moebius
5. Integrali

- 
6. Serie di Taylor e Laurent
  7. Residui e loro applicazioni
  8. Ulteriori proprietà delle funzioni analitiche: prolungamento analitico, principio del massimo modulo, funzioni armoniche.
  9. Tempo permettendo, e compatibilmente con gli interessi dell'uditorio, ulteriori argomenti fra cui: funzioni ellittiche, Funzione Zeta e Funzione Gamma, prodotti infiniti, Teorema della Mappa di Riemann, Lemma di Schwarz, Piccolo e Grande Teorema di Picard, Teorema di Runge, Superfici di Riemann.

### 3.3. **Materiale didattico**

- Carlo Presilla: *Elementi di Analisi Complessa* (Springer 2014)
- Lars V. Ahlfors: *Complex Analysis* (McGraw-Hill 1966)
- John B. Conway: *Functions of One Complex Variable* (Springer 1978)
- Serge Lvovski: *Principles of Complex Analysis* (Springer 2020)
- Richard Silverman: *Complex Analysis with Applications* (Dover 1984)
- Note del corso fornite dal docente e postate sul canale Teams del corso

## 4. Modalità di svolgimento

### 4.1. **Insegnamento**

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

### 4.2. **Valutazione**

Esame scritto (quesiti a risposta libera) seguito da esame orale.

SCHEDA INSEGNAMENTO

# Introduzione alla Teoria del Controllo

Corso di studi: *Matematica Fisica e Ingegneria*  
Anno Accademico: 2024-2025

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Mario di Bernardo

E-mail: [mario.dibernardo@unina.it](mailto: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 48

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 della Teoria del Controllo. La teoria del controllo è la "Scienza del Feedback" e la Teoria Matematica del Controllo una branca della Matematica Applicata i cui recenti sviluppi hanno reso possibile, ad esempio, l'implementazione di autopiloti sugli aerei e l'atterraggio di sonde interplanetarie automatiche su Marte. Al giorno d'oggi, sono sorte nuove sfide che richiedono un'adeguata comprensione matematica. Il controllo ibrido, il controllo della congestione di Internet e il

---

controllo di sistemi multiagente sono solo alcuni esempi di recenti applicazioni della teoria del controllo.

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 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 discuterà 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 gli osservatori per stimare gli stati 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 il caos e le biforcazioni per la progettazione 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.

# Introduzione alla Meccanica Celeste

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria  
Anno Accademico: 2024-2025*

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Filippo Contino

E-mail: f.contino@ssmeridionale.it

Pagina web:

## 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

Formulazione Hamiltoniana del sistema a  $N$  corpi. Metodi perturbativi nei sistemi gravitazionali. Stabilità dei sistemi gravitazionali. Metodi di regolarizzazione.

## 3.2. Programma

1. Fondamenti di Meccanica Celeste: problema del due corpi in Meccanica Newtoniana; Equazioni del moto ed orbite kepleriane; Leggi di Keplero; Elementi orbitali e orbite planetarie.

2. Formulazione Hamiltoniana della meccanica celeste. Richiami di Meccanica analitica; Formulazione Hamiltoniana del problema dei due corpi; Introduzione alle perturbazioni; Moti della Terra: precessione degli equinozi e nutazioni; Problema dei  $N$  corpi; Problema planetario secolare e stabilità del sistema solare; Problema ristretto dei tre corpi.

3. Problema dei Tre Corpi e Caos in Meccanica Celeste. Problema dei tre corpi: approcci classici e moderni; Punti di Lagrange e loro stabilità; Formalismo della teoria di Kolmogorov-Arnold-Moser; Caos e transizioni dinamiche nei sistemi celesti; Dinamica degli asteroidi e modelli di destabilizzazione orbitale.

4. Stabilità Orbitale e Metodi di Regolarizzazione: Problema delle collisioni; Regolarizzazione di Levi-Civita; Regolarizzazione di Kustaanheimo-Stiefel; Stabilità orbitale e applicazioni ai sistemi planetari; Interazioni Mareali.

5. Applicazioni Astrofisiche e Meccanica Celeste Relativistica. Meccanica celeste relativistica: precessione del perielio di Mercurio; Onde gravitazionali e sistemi binari; Dinamica degli ammassi stellari e modelli di Jeans; Precessione delle orbite satellitari.

## 3.3. Materiale didattico

- Note del corso fornite dal docente
- *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

# Mathematical and Data Modelling

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria*  
*Anno Accademico: 2024-2025*

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Alessandro Della Pia  
E-mail: a.dellapia@ssmeridionale.it  
Pagina web: [www.researchgate.net/profile/Alessandro-Della-Pia](http://www.researchgate.net/profile/Alessandro-Della-Pia)

## 2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Inglese  
Anno di corso: III  
Periodo di svolgimento: 1° semestre (ottobre 2024 – dicembre 2024)  
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 presentati 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:

- Gong, X. et al. (2023). "Crowd Dynamics: Modeling and Control of Multiagent Systems". *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 6:261–82;
- Dogbé, C. (2010). "Modeling crowd dynamics by the mean-field limit approach". *Mathematical and Computing Modelling*, 52(9-10): 1506-1520;
- LeVeque, R. J. (1992). *Numerical Methods for Conservation Laws* (2nd ed.);
- Hughes, R. L. (2002). "A Continuum Theory for the Flow of Pedestrians". *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(6):507–535;
- Hughes, R. L. (2003). "The Flow of Human Crowds". *Annual Review of Fluid Mechanics*, 35(1):169–182.

## 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

# Introduction to Complex Systems and Networks

*Corso di studi: Matematica Fisica e Ingegneria*  
*Anno Accademico: 2024-2025*

## 1. Informazioni sul docente

Docente: Davide Salzano  
E-mail: [d.salzano@ssmeridionale.it](mailto:d.salzano@ssmeridionale.it)  
Pagina web: <https://sites.google.com/site/dibernardogroup/group/davide-salzano>

## 2. Informazioni generali

Lingua di erogazione: Inglese  
Anno di corso: I  
Periodo di svolgimento: Novembre 2024 – Dicembre 2024  
CFU: 4  
Ore: 24  
Insegnamenti propedeutici: Nessuno

## 3. Contenuti

### 3.1. Obiettivi formativi

In questo corso gli studenti studieranno i fondamentali della modellistica, dell'analisi e del controllo dei sistemi complessi, ossia di quella classe di sistemi caratterizzati dalla presenza di molti agenti dinamici non lineari che interagiscono attraverso una rete complessa. Dopo aver esaminato i concetti fondamentali relativi all'analisi e al controllo dei sistemi dinamici non lineari, gli studenti esploreranno le proprietà emergenti e i comportamenti collettivi di tali sistemi. Inoltre, verranno introdotti strumenti analitici e numerici per studiare la convergenza, la controllabilità e l'osservabilità di tali sistemi. Infine, verranno approfondite tecniche per il controllo dei sistemi complessi e saranno forniti strumenti per analizzarne le prestazioni e la

---

robustezza. Nell'ambito del corso saranno utilizzati esempi provenienti da scienza applicate e dall'ingegneria per illustrare i concetti chiave e completare le derivazioni teoriche. I sistemi di esempio e le applicazioni saranno tratti da vari campi, tra cui, ad esempio, reti elettriche/meccaniche, sociologia, ecologia, e robotica .

### 3.2. Programma

1. Introduzione
2. Richiami sui sistemi lineari/non lineari
3. Richiami sul controllo di singoli agenti
4. Prima sessione pratica (Simulazione di sistemi dinamici)
5. Elementi di teoria dei grafi
6. Consenso
7. Sincronizzazione
8. Controllo pinning
9. Seconda sessione pratica (Simulazione di sistemi in rete)
10. Reti in evoluzione
11. Rischio e complessità
12. Terza sessione pratica (Controllo e vulnerabilità delle reti)

### 3.3. Materiale didattico

- Slides del Corso
- F.Bullo, "Lectures on Network Systems", Kindle Direct Publishing, 2024.

## 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

- Discussioni di un elaborato
- Esame orale

**Course title:** Numerical Methods for Data Mining

**Duration:** 24

**PhD Program:** MERC

**Name and Contact details of unit organizer(s):**

Dr. Dimitrios Patsatzis, Prof. Constantinos Siettos  
Affiliation(s): Scuola Superiore Meridionale, Dipartimento di Matematica e Applicazioni "Renato Caccioppoli"  
Email: [d.patsatzis@ssmeridionale.it](mailto:d.patsatzis@ssmeridionale.it), [constantinos.siettos@unina.it](mailto:constantinos.siettos@unina.it)

**Course Description:**

The objective of the course is to provide a solid theoretical and computational background on various mathematical methods and numerical analysis methods for the analysis of the dynamics of complex nonlinear large-scale models with a wide range of applications (socioeconomic, neuroscience, epidemiology, finance). Starting from linear algebra and topological spaces, emphasis is placed on least square optimization and regularization, as well as the problem of data embedding, that is finding latent spaces (manifolds) to accurately represent the properties of the data and their similarities. Building on manifold learning techniques, the course also provides an introduction for modelling and analysing large-scale problems with the use of Equation free framework and Matrix-free methods. Pseudocodes and algorithms are also provided, in order for the students to build their own libraries of algorithmic tools for the analysis of large-scale, complex dynamical systems.

**Syllabus:**

- A. Matrix algebra for the numerical analysis of complex systems.
  - The fundamental theorem of linear algebra. Least squares estimation. The problem of regularization.
- B. The problem of data embedding
  - SVD, PCA, ICA, MDS, Kernel PCA, ISOMAP, Diffusion Maps
- C. Modelling
  - The General Linear Model and the Generalized Linear Model, Gaussian Process
  - The Dynamic Mode Decomposition method and the Koopman operator theory
- D. Analysis of Complex Systems
  - The Equation-Free multiscale framework for the analysis of multiscale complex systems
  - Matrix-free methods for large-scale problems. Krylov sub-spaces. GMRES and Arnoldi methods.

**Assessment:**

This will be a hands-one course. Based on the provided pseudocodes and algorithms, the students will develop their own library of numerical algorithms for modelling and solving large-scale complex problems. The assessment and cores will be based on a set of assignments, to be delivered as short reports throughout the bimester, and a short final oral exam.

**Suggested reading and online resources:**

1. Wang, J, Geometric Structure of High-Dimensional Data and Dimensionality Reduction, Springer-Verlag, 2012
2. Kelley, CT, Iterative Methods for Linear and Nonlinear Equations, SIAM, 1995.  
[https://archive.siam.org/books/textbooks/fr16\\_book.pdf](https://archive.siam.org/books/textbooks/fr16_book.pdf)
3. Karlin, S, An introduction to Stochastic Modelling, Academic Press, 1998.
4. Dobson, A, Barnett, A, Introduction to Generalized Linear Models, Chapman and Hall/CRC2008
5. Notes and papers given to the students.

**Course title:**

**Probability calculus and elements of stochastic modelling**

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

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

**Name and Contact details of unit organizer(s):**

Dr. Giacomo Ascione, Dr. Caio César Graciani Rodrigues  
Affiliation(s): Scuola Superiore Meridionale  
Email: [g.ascione,c.graciani] at 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 stochastic modelling such as models of random variables, 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 every week. The solutions to the assignments will be discussed during the lectures. The assignments will also require the students to work on MatLab (or R, 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. The course consists of 12 lessons of 2 hours each.

**Syllabus** [itemized list of course topics]:

- Elements of Set Theory; definitions of probability, and some practical calculation criteria; basics combinatorial calculus.
- Independence; Conditional probability; Total probability law; Bayes theorem; Conditional Independence
- Random variables; Cumulative Probability Distributions and Related properties; Models of Random Variables
- Expectation; Variance; Covariance; Higher Order Moments; Convergence of Random Variables;
- Basics of Conditional Expectations; Definition of Stochastic Process; Markov Chains and their elementary properties;
- Counting Processes; Time-Homogeneous Poisson Process; Time-inhomogeneous Poisson Process;

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

Throughout the duration of the course, students will engage in a series of practical exercises designed to reinforce the concepts covered during class sessions. As the course culminates, each student, either individually or as part of a collaborative group, will undertake a comprehensive project. This project will involve the preparation of oral presentation followed by a written report encompassing the realms of probability theory and stochastic processes, showcasing their application in personal research or in challenges selected in consultation with instructors and tailored to match the students' unique academic backgrounds.

**Suggested reading and online resources:**

Notes and slides will be provided during the course.

Suggested books:

1. S. Ross, Stochastic Processes, 2nd ed., 1983, John Wiley and Sons.
2. S. Ross, Introduction to probability models, 2014, Academic Press.
3. A Papoulis, S. U. Pillai, Probability, Random Variables and Stochastic Process, 4<sup>th</sup> ed., 2002, McGraw Hill

Further References will be possibly given during the lectures.

**Course title:** An Introduction to Learning and Data-Driven Methods

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

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

**Name and Contact details of unit organizer(s)**

Prof. Mirco Musolesi, UCL and University of Bologna ([m.musolesi@ucl.ac.uk](mailto:m.musolesi@ucl.ac.uk), <https://www.mircomusolesi.org>)  
with seminar lectures from:

Prof. Giovanni Russo,

University of Salerno ([giovarusso@unisa.it](mailto:giovarusso@unisa.it), <https://sites.google.com/view/giovanni-russo>)

**Course Description:**

This module introduces students to learning and data-driven methods enabling agents to make decisions. The module starts with motivating the use of these methods across a wide range of application domains that are relevant for risk and complexity. Starting from the motivating examples, the key ingredients of learning and data-driven methods are then introduced. It is then shown how these key ingredients can be *mixed* to obtain classic algorithms enabling agents to make decisions from data. This leads students to familiarize with Dynamic Programming, Gradient Descent and their applications to Reinforcement Learning, focusing on policy-based and value-based resolution methods that require a discretize state/action spaces. Throughout this part of the module, strengths and weaknesses of the methods are discussed and the discussion will smoothly lead to motivate, and introduce, modern data-driven control, deep learning and multi-agent techniques. A key feature of the module is that methodological aspects are complemented with the development of case studies of interest for risk and complexity. By doing so, students will get hands-on-experience in coding their own algorithms, thus leading a computationally-oriented understanding of the methods introduced in the module. Finally, through an interactive discussion, we will outline the open challenges in the fascinating field of data-driven control and reinforcement learning.

**Syllabus:**

1. Introduction to learning and data-driven methods: motivation
2. Key ingredients: mathematical formulation, optimization and data
3. Value-based methods: Q-learning and SARSA as case studies
4. Policy-based methods: REINFORCE as case study
5. Data-driven methods for control
6. Deep Learning: Applications of Deep Learning to RL and DQN
7. Introduction to multi-agent RL

**Assessment:** Discussion of project works developed throughout the module

**Suggested reading and online resources:**

1. Moritz Hardt and Benjamin Recht. Patterns, Predictions, And Actions: A story about machine learning
2. Richard S. Sutton and Andrew G. Barto. Reinforcement Learning: An Introduction
3. Kevin Leyton-Brown and Yoav Shoham. Multiagent Systems, Game-theoretic and Logical Foundations. Cambridge University Press
4. OpenAI. Key papers in Deep RL. <https://spinningup.openai.com/en/latest/spinningup/keypapers.htm>

**Course title:**

Introduction to Python programming

**Duration** [number of hours]: **12**

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

**Name and Contact details of unit organizer(s):**

Dr. Davide Salzano  
Affiliation(s): Scuola Superiore Meridionale  
Email: d.salzano@ssmeridionale.it

**Course Description** [max 150 words]:

This Unit is intended to introduce student to the fundamentals of python programming. The course will cover concepts start from the bases of procedural programming up to the use of complex libraries for machine learning. After introducing python as a programming language and the main concepts of procedural programming, we will introduce object oriented programming, giving the technical bases needed to understand what are classes and how to implement inheritance and polymorphism in python. Having put the bases of procedural and object oriented programming, we will introduce some key libraries for the use of python for the simulation of differential equations and the implementation of machine learning algorithms. Specifically, the numpy, scitlearn and panda modules will be introduced to the students using examples to help the familiarization with the classes and functions implemented within.  
The course will be enriched by a final practical session where all the concepts learnt will be put to use on a relevant case study.

**Syllabus** [itemized list of course topics]:

- Introduction to python
- Object-Oriented programming
- Numpy
- Scitlearn
- Pandas
- Practical session

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

No assignment

**Suggested reading and online resources:**

1. Zhou, Zhi-Hua. *Machine learning*. Springer Nature, 2021.
2. Raschka, Sebastian. *Python machine learning*. Packt publishing ltd, 2015.

**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: Iunio Iervolino<sup>1,2</sup>, Pasquale Cito<sup>1</sup>  
Affiliation(s): <sup>1</sup>University of Naples Federico II, <sup>2</sup>IUSS Pavia  
Website: <http://wpage.unina.it/iuniervo/>  
<https://www.docenti.unina.it/pasquale.cito>  
Email: [iunio.iervolino@unina.it](mailto:iunio.iervolino@unina.it), [pasquale.cito@unina.it](mailto:pasquale.cito@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

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

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

**Name and Contact Details of Lecturer:**

Tiziano DE ANGELIS  
Dipartimento di Scienze Economico-Sociali e Matematico-Statistiche, Università di Torino  
Email: [tiziano.deangelis@unito.it](mailto:tiziano.deangelis@unito.it)

**Course Description [max 150 words]:**

*Over the past few decades stochastic differential equations and singular stochastic control have become powerful mathematical tools to address practical problems from a broad range of disciplines, including physics, engineering, economics and social sciences. 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 and engineering.*

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

*Solutions of problems during the course:  
Weekly assignments on some challenging problems will be handed out to the students that must solve the problems and discuss the solutions during one of the following lectures.*

**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

**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:**

Numerical treatment of PDEs

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

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

**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

Notes: <https://www.mate.polimi.it/biblioteca/add/qmox/49-2013.pdf>

Slides: <https://freefem.org/>