

## DIDATTICA EROGATA 2023/2024

### Scienze Computazionali (LM-40)

Dipartimento: MATEMATICA E FISICA

Codice CdS: 104653

#### INSEGNAMENTI

##### Primo semestre

#### 20410882 - AC310 - ANALISI COMPLESSA ( - MAT/03, MAT/05 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410882 AC310 - ANALISI COMPLESSA in Matematica LM-40 CHIERCHIA LUIGI	72	
Mutuato da: 20410882 AC310 - ANALISI COMPLESSA in Matematica LM-40 CHIERCHIA LUIGI	72	
Mutuato da: 20410882 AC310 - ANALISI COMPLESSA in Matematica LM-40 CHIERCHIA LUIGI	72	

#### 20410408 - AL310 - ISTITUZIONI DI ALGEBRA SUPERIORE ( - MAT/02 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410408 AL310 - ISTITUZIONI DI ALGEBRA SUPERIORE in Matematica L-35 CAPUANO LAURA	60	
Mutuato da: 20410408 AL310 - ISTITUZIONI DI ALGEBRA SUPERIORE in Matematica L-35 TALAMANCA VALERIO	12	
Mutuato da: 20410408 AL310 - ISTITUZIONI DI ALGEBRA SUPERIORE in Matematica L-35 CAPUANO LAURA	60	
Mutuato da: 20410408 AL310 - ISTITUZIONI DI ALGEBRA SUPERIORE in Matematica L-35 TALAMANCA VALERIO	12	
Mutuato da: 20410408 AL310 - ISTITUZIONI DI ALGEBRA SUPERIORE in Matematica L-35 CAPUANO LAURA	60	
Mutuato da: 20410408 AL310 - ISTITUZIONI DI ALGEBRA SUPERIORE in Matematica L-35 TALAMANCA VALERIO	12	

#### 20410609 - AM300 - ANALISI MATEMATICA 5 ( - MAT/05 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410609 AM300 - ANALISI MATEMATICA 5 in Matematica LM-40 PROCESI MICHELA	72	
Mutuato da: 20410609 AM300 - ANALISI MATEMATICA 5 in Matematica LM-40 PROCESI MICHELA	72	
Mutuato da: 20410609 AM300 - ANALISI MATEMATICA 5 in Matematica LM-40 PROCESI MICHELA	72	

#### 20410876 - AM400-ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE ( - MAT/05 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410876 AM400-ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE in Matematica LM-40 BATTAGLIA LUCA	72	
Mutuato da: 20410876 AM400-ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE in Matematica LM-40 BATTAGLIA LUCA	72	
Mutuato da: 20410876 AM400-ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE in Matematica LM-40 BATTAGLIA LUCA	72	

#### 20410756 - AM420 - EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI ( - MAT/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410756 AM420 - EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 BATTAGLIA LUCA	30	
Mutuato da: 20410756 AM420 - EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 BESSI UGO	30	
Mutuato da: 20410756 AM420 - EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 BATTAGLIA LUCA	30	
Mutuato da: 20410756 AM420 - EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 BESSI UGO	30	
Mutuato da: 20410756 AM420 - EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 BATTAGLIA LUCA	30	
Mutuato da: 20410756 AM420 - EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 BESSI UGO	30	

### 20410413 - AN410 - ANALISI NUMERICA 1 ( - MAT/08 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410413 AN410 - ANALISI NUMERICA 1 in Matematica L-35 FERRETTI ROBERTO	72	
Mutuato da: 20410413 AN410 - ANALISI NUMERICA 1 in Matematica L-35 FERRETTI ROBERTO	72	
Mutuato da: 20410413 AN410 - ANALISI NUMERICA 1 in Matematica L-35 FERRETTI ROBERTO	72	

### 20410421 - AN430 - METODO DEGLI ELEMENTI FINITI ( - MAT/08 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TERESI LUCIANO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410421 AN430 - METODO DEGLI ELEMENTI FINITI in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	60	
Mutuato da: 20410421 AN430 - METODO DEGLI ELEMENTI FINITI in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	60	

### 20410447 - CP410 - TEORIA DELLA PROBABILITÀ ( - MAT/06 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410414 CP410 - TEORIA DELLA PROBABILITÀ in Matematica L-35 CANDELLERO ELISABETTA	72	
Fruito da: 20410414 CP410 - TEORIA DELLA PROBABILITÀ in Matematica L-35 CANDELLERO ELISABETTA	72	
Fruito da: 20410414 CP410 - TEORIA DELLA PROBABILITÀ in Matematica L-35 CANDELLERO ELISABETTA	72	

### 20410625 - CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA - MODULO A ( - MAT/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Crittografia e sicurezza informatica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MEROLA FRANCESCA	60	Carico didattico	

### 20410625 - CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA - MODULO B ( - MAT/02 - 3 CFU - 12 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ONOFRI ELIA	12	Didattica Integrativa	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410625-2 CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA - MODULO B in Scienze Computazionali LM-40 Onofri Elia	12	
Mutuato da: 20410625-2 CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA - MODULO B in Scienze Computazionali	12	

Dettaglio	Ore	Canale
LM-40 Onofri Elia		

**20410428 - CR510 – CRITTO SISTEMI ELLITTICI ( - MAT/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TURCHET AMOS	60	Carico didattico	

**20410410 - FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA ( - MAT/07 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 CORSI LIVIA	52	
Mutuato da: 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35		
Mutuato da: 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 CORSI LIVIA	52	
Mutuato da: 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35		
Mutuato da: 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 CORSI LIVIA	52	
Mutuato da: 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35		

**20410437 - FS430- TEORIA DELLA RELATIVITÀ ( - FIS/02 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 FRANCIA DARIO	48	
Fruito da: 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 FRANCIA DARIO	48	
Fruito da: 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 FRANCIA DARIO	48	

**20410436 - FS420 - MECCANICA QUANTISTICA ( - FIS/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410015 MECCANICA QUANTISTICA in Fisica L-30 LUBICZ VITTORIO	60	
Fruito da: 20410015 MECCANICA QUANTISTICA in Fisica L-30 TARANTINO CECILIA	60	
Fruito da: 20410015 MECCANICA QUANTISTICA in Fisica L-30 LUBICZ VITTORIO	60	
Fruito da: 20410015 MECCANICA QUANTISTICA in Fisica L-30 TARANTINO CECILIA	60	
Fruito da: 20410015 MECCANICA QUANTISTICA in Fisica L-30 LUBICZ VITTORIO	60	
Fruito da: 20410015 MECCANICA QUANTISTICA in Fisica L-30 TARANTINO CECILIA	60	

**20410435 - FS440 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI ( - FIS/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 Branchini Paolo	60	
Fruito da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 Branchini Paolo	60	
Fruito da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 Branchini Paolo	60	

**20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO ( - FIS/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCESCHINI ROBERTO	40	Carico didattico	
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	20	Carico didattico	

**20410444 - GE430 - GEOMETRIA RIEMANNIANA ( - MAT/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410444 GE430 - GEOMETRIA RIEMANNIANA in Matematica LM-40 SCHAFFLER LUCA	60	
Mutuato da: 20410444 GE430 - GEOMETRIA RIEMANNIANA in Matematica LM-40 SCHAFFLER LUCA	60	
Mutuato da: 20410444 GE430 - GEOMETRIA RIEMANNIANA in Matematica LM-40 SCHAFFLER LUCA	60	

**20410411 - GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE ( - MAT/03 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 PONTECORVO MASSIMILIANO	60	
Mutuato da: 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 SCHAFFLER LUCA	12	
Mutuato da: 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 PONTECORVO MASSIMILIANO	60	
Mutuato da: 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 SCHAFFLER LUCA	12	
Mutuato da: 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 PONTECORVO MASSIMILIANO	60	
Mutuato da: 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 SCHAFFLER LUCA	12	

**20410449 - GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 ( - MAT/03 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 LELLI CHIESA MARGHERITA	66	
Mutuato da: 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 TURCHET AMOS	6	
Mutuato da: 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 LELLI CHIESA MARGHERITA	66	
Mutuato da: 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 TURCHET AMOS	6	
Mutuato da: 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 LELLI CHIESA MARGHERITA	66	
Mutuato da: 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 TURCHET AMOS	6	

**20410560 - MODULO A - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON ( - INF/01 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GUARINO STEFANO	30	Contratto di insegnamento retribuito	

**20410560 - MODULO B - PROGRAMMAZIONE IN MATLAB ( - INF/01 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PAPA FEDERICO	30	Esperto di alta qualificazione retribuito	

**20410417 - IN410-CALCOLABILITÀ E COMPLESSITÀ ( - MAT/01 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PEDICINI MARCO	72	Carico didattico	

**20410427 - IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE ( - INF/01 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LOMBARDI FLAVIO	72	Esperto di alta qualificazione retribuito	

**20410877 - IN500 – QUANTUM COMPUTING ( - INF/01 - 6 CFU - 10 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PEDICINI MARCO	10	Carico didattico	

**20410432 - IN550 – MACHINE LEARNING ( - INF/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BONIFACI VINCENZO	60	Carico didattico	

**20410451 - LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO A ( - MAT/01 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410451-1 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO A in Matematica LM-40 MAIELI ROBERTO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410451-1 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO A in Matematica LM-40 MAIELI ROBERTO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410451-1 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO A in Matematica LM-40 MAIELI ROBERTO	48	

**20410451 - LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO B ( - MAT/01 - 3 CFU - 24 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410451-2 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO B in Matematica LM-40 TORTORA DE FALCO LORENZO	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410451-2 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO B in Matematica LM-40 TORTORA DE FALCO LORENZO	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410451-2 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO B in Matematica LM-40 TORTORA DE FALCO LORENZO	24	

**20410613 - LM430 - LOGICA E FONDAMENTI DELLA MATEMATICA ( - MAT/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410613 LM430 - LOGICA E FONDAMENTI DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 TORTORA DE FALCO LORENZO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410613 LM430 - LOGICA E FONDAMENTI DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 TORTORA DE FALCO LORENZO	60	

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410613 LM430 - LOGICA E FONDAMENTI DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 TORTORA DE FALCO LORENZO	60	

### 20410555 - ST410-STATISTICA ( - MAT/06 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MARTINELLI FABIO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410555 ST410-STATISTICA in Scienze Computazionali LM-40 MARTINELLI FABIO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410555 ST410-STATISTICA in Scienze Computazionali LM-40 MARTINELLI FABIO	60	

## Secondo semestre

### 20410445 - AL410 - ALGEBRA COMMUTATIVA ( - MAT/02 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410445 AL410 - ALGEBRA COMMUTATIVA in Matematica LM-40 TARTARONE FRANCESCA	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410445 AL410 - ALGEBRA COMMUTATIVA in Matematica LM-40 TARTARONE FRANCESCA	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410445 AL410 - ALGEBRA COMMUTATIVA in Matematica LM-40 TARTARONE FRANCESCA	72	

### 20410520 - AL420 - TEORIA ALGEBRICA DEI NUMERI ( - MAT/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410520 AL420 - TEORIA ALGEBRICA DEI NUMERI in Matematica LM-40 BARROERO FABRIZIO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410520 AL420 - TEORIA ALGEBRICA DEI NUMERI in Matematica LM-40 BARROERO FABRIZIO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410520 AL420 - TEORIA ALGEBRICA DEI NUMERI in Matematica LM-40 BARROERO FABRIZIO	60	

### 20410757 - AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI ( - MAT/05 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410757_2 AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 ESPOSITO PIERPAOLO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410757_2 AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 ESPOSITO PIERPAOLO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410757_2 AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 ESPOSITO PIERPAOLO	30	

### 20410457 - CP430 - CALCOLO STOCASTICO ( - MAT/06 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410457 CP430 - CALCOLO STOCASTICO in Matematica LM-40 CAPUTO PIETRO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410457 CP430 - CALCOLO STOCASTICO in Matematica LM-40 CAPUTO PIETRO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410457 CP430 - CALCOLO STOCASTICO in Matematica LM-40 CAPUTO PIETRO	60	

**20410757 - AM410- MODULO A - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI ( -**

*MAT/05 - 3 CFU - 30 ore - ITA )*

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410757_1 AM410- MODULO A - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 ESPOSITO PIERPAOLO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410757_1 AM410- MODULO A - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 ESPOSITO PIERPAOLO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410757_1 AM410- MODULO A - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI in Matematica LM-40 ESPOSITO PIERPAOLO	30	

**20410637 - AM450 - ANALISI FUNZIONALE ( - MAT/05 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 BESSI UGO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 PROCESI MICHELA	12	
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 BESSI UGO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 PROCESI MICHELA	12	
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 BESSI UGO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 PROCESI MICHELA	12	

**20410434 - FS450 - ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA ( - FIS/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20401806 ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA in Fisica L-30 N0 RAIMONDI ROBERTO	60	
<b>Fruito da:</b> 20401806 ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA in Fisica L-30 N0 RAIMONDI ROBERTO	60	
<b>Fruito da:</b> 20401806 ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA in Fisica L-30 N0 RAIMONDI ROBERTO	60	

**20410425 - GE460 - TEORIA DEI GRAFI ( - MAT/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	60	Carico didattico	

**20410420 - AN420 - ANALISI NUMERICA 2 ( - MAT/08 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FERRETTI ROBERTO	72	Affidamento a titolo gratuito	
FERRETTI ROBERTO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410420 AN420 - ANALISI NUMERICA 2 in Scienze Computazionali LM-40 FERRETTI ROBERTO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410420 AN420 - ANALISI NUMERICA 2 in Scienze Computazionali LM-40 FERRETTI ROBERTO	72	

**20410441 - CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI ( - MAT/06 - 6 CFU - 10 ore - ITA )**

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MARTINELLI FABIO	10	Affidamento a titolo gratuito	
MARTINELLI FABIO	10	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410441 CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI in Scienze Computazionali LM-40 MARTINELLI FABIO	10	
<b>Mutuato da:</b> 20410441 CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI in Scienze Computazionali LM-40 MARTINELLI FABIO	10	
<b>Mutuato da:</b> 20410441 CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI in Scienze Computazionali LM-40 MARTINELLI FABIO	10	

**20410416 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - Modulo A ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410084 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A in Fisica L-30 REUVERS Robin Johannes Petrus	30	
<b>Fruito da:</b> 20410084 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A in Fisica L-30 REUVERS Robin Johannes Petrus	30	
<b>Fruito da:</b> 20410084 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A in Fisica L-30 REUVERS Robin Johannes Petrus	30	

**20410568 - IN470 - METODI COMPUTAZIONALI PER LA BIOLOGIA ( - INF/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MASTROSTEFANO ENRICO	60	Contratto di insegnamento retribuito	

**20410416 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - Modulo B ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 REUVERS Robin Johannes Petrus	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 REUVERS Robin Johannes Petrus	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 REUVERS Robin Johannes Petrus	30	

**20410875 - FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING ( - MAT/07 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TERESI LUCIANO	60	Carico didattico	
GIULIANI ALESSANDRO	12	Affidamento a titolo gratuito	
GIULIANI ALESSANDRO	12	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	60	

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 GIULIANI ALESSANDRO	12	
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 GIULIANI ALESSANDRO	12	

### 20410426 - IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO ( - INF/01 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LOMBARDI FLAVIO	72	Affidamento in convenzione	

### 20410470 - FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA ( - MAT/07 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SCOPPOLA ELISABETTA	30	Carico didattico	
D'AUTILIA ROBERTO	22	Didattica Integrativa	
TERESI LUCIANO	20	Affidamento a titolo gratuito	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40 SCOPPOLA ELISABETTA	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40		
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40 SCOPPOLA ELISABETTA	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40		
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40 SCOPPOLA ELISABETTA	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410470 FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA in Scienze Computazionali LM-40		

### 20410455 - LM420 - TEOREMI SULLA LOGICA 2 ( - MAT/01 - 6 CFU - 36 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20710122 TEOREMI SULLA LOGICA, 2 in Scienze filosofiche LM-78 TORTORA DE FALCO LORENZO	36	
<b>Fruito da:</b> 20710122 TEOREMI SULLA LOGICA, 2 in Scienze filosofiche LM-78 TORTORA DE FALCO LORENZO	36	
<b>Fruito da:</b> 20710122 TEOREMI SULLA LOGICA, 2 in Scienze filosofiche LM-78 TORTORA DE FALCO LORENZO	36	

### 20410529 - LM510 - TEORIE LOGICHE 1 ( - MAT/01 - 6 CFU - 36 ore - ITA )

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20710091 TEORIE LOGICHE 1 - LM in Scienze filosofiche LM-78 MAIELI ROBERTO	36	
<b>Fruito da:</b> 20710091 TEORIE LOGICHE 1 - LM in Scienze filosofiche LM-78 MAIELI ROBERTO	36	
<b>Fruito da:</b> 20710091 TEORIE LOGICHE 1 - LM in Scienze filosofiche LM-78 MAIELI ROBERTO	36	

**20410566 - FS470 - PRINCIPI DI ASTROFISICA ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 LA FRANCA FABIO	60	
<b>Fruito da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 MATT GIORGIO	60	
<b>Fruito da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 LA FRANCA FABIO	60	
<b>Fruito da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 MATT GIORGIO	60	
<b>Fruito da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 LA FRANCA FABIO	60	
<b>Fruito da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 MATT GIORGIO	60	

**20410626 - IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA ( - MAT/09 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BONIFACI VINCENZO	72	Affidamento a titolo gratuito	
BONIFACI VINCENZO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410626 IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA in Scienze Computazionali LM-40 BONIFACI VINCENZO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410626 IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA in Scienze Computazionali LM-40 BONIFACI VINCENZO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410626 IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA in Scienze Computazionali LM-40 BONIFACI VINCENZO	72	

**20410438 - MF410 - FINANZA COMPUTAZIONALE ( - SECS-S/06 - 9 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 21201730 FINANZA COMPUTAZIONALE in Finanza e impresa LM-16 CESARONE FRANCESCO	60	
<b>Fruito da:</b> 21201730 FINANZA COMPUTAZIONALE in Finanza e impresa LM-16 CESARONE FRANCESCO	60	
<b>Fruito da:</b> 21201730 FINANZA COMPUTAZIONALE in Finanza e impresa LM-16 CESARONE FRANCESCO	60	

**20410419 - MS410-MECCANICA STATISTICA ( - MAT/07 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GIULIANI ALESSANDRO	72	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410419 MS410-MECCANICA STATISTICA in Scienze Computazionali LM-40 GIULIANI ALESSANDRO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410419 MS410-MECCANICA STATISTICA in Scienze Computazionali LM-40 GIULIANI ALESSANDRO	72	

**20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA ( - INF/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PEDICINI MARCO	60	Affidamento a titolo gratuito	
PEDICINI MARCO	48	Carico didattico	

**20410779 - IN560-CYBERSECURITY PER LE TELECOMUNICAZIONI ( - ING-INF/03 - 6 CFU - 42 ore - ITA )**

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Frutto da:</b> 20810340 CYBERSECURITY PER LE TELECOMUNICAZIONI in Ingegneria delle Telecomunicazioni LM-27 CARLI MARCO	42	
<b>Frutto da:</b> 20810340 CYBERSECURITY PER LE TELECOMUNICAZIONI in Ingegneria delle Telecomunicazioni LM-27 CARLI MARCO	42	
<b>Frutto da:</b> 20810340 CYBERSECURITY PER LE TELECOMUNICAZIONI in Ingegneria delle Telecomunicazioni LM-27 CARLI MARCO	42	

**20410627 - TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI ( - MAT/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** *Analisi dei dati e statistica - Crittografia e sicurezza informatica - Modellistica fisica e simulazioni numeriche*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 TALAMANCA VALERIO	12	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 TALAMANCA VALERIO	12	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 TALAMANCA VALERIO	12	

## INCARICHI DIDATTICI DEL CORSO DI LAUREA

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
BONIFACI VINCENZO	132	Affidamento a titolo gratuito	72	20410626 - IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA
		Carico didattico	48	20410626 - IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA
		Carico didattico	60	20410432 - IN550 - MACHINE LEARNING
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	20	Carico didattico	20	20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO
D'AUTILIA ROBERTO	22	Didattica Integrativa	22	20410470 - FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA
FERRETTI ROBERTO	72	Carico didattico	48	20410420 - AN420 - ANALISI NUMERICA 2
		Affidamento a titolo gratuito	72	20410420 - AN420 - ANALISI NUMERICA 2
FRANCESCHINI ROBERTO	40	Carico didattico	40	20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO
GIULIANI ALESSANDRO	84	Carico didattico	12	20410875 - FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING
		Affidamento a titolo gratuito	12	20410875 - FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING
		Carico didattico	72	20410419 - MS410-MECCANICA STATISTICA
GUARINO STEFANO	30	Contratto di insegnamento retribuito	30	20410560 - IN400 - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON E MATLAB
LOMBARDI FLAVIO	144	Affidamento in convenzione	72	20410426 - IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO
		Esperto di alta qualificazione retribuito	72	20410427 - IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE
MARTINELLI FABIO	70	Carico didattico	10	20410441 - CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI
		Affidamento a titolo gratuito	10	20410441 - CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI
		Carico didattico	60	20410555 - ST410-STATISTICA
MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	60	Carico didattico	60	20410425 - GE460 - TEORIA DEI GRAFI
MASTROSTEFANO ENRICO	60	Contratto di insegnamento retribuito	60	20410568 - IN470 - METODI COMPUTAZIONALI PER LA BIOLOGIA
MEROLA FRANCESCA	60	Carico didattico	60	20410625 - CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA
ONOFRI ELIA	12	Didattica Integrativa	12	20410625 - CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA
PAPA FEDERICO	30	Esperto di alta qualificazione retribuito	30	20410560 - IN400 - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON E MATLAB
PEDICINI MARCO	142	Carico didattico	72	20410417 - IN410-CALCOLABILITÀ E COMPLESSITÀ
		Carico didattico	48	20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA
		Affidamento a titolo gratuito	60	20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA
		Carico didattico	48	20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA
		Affidamento a titolo gratuito	60	20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA
		Carico didattico	48	20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA
		Affidamento a titolo gratuito	60	20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA
Carico didattico	10	20410877 - IN500 - QUANTUM COMPUTING		
SCOPPOLA ELISABETTA	30	Carico didattico	30	20410470 - FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA
TERESI LUCIANO	140	Carico didattico	60	20410421 - AN430 - METODO DEGLI ELEMENTI FINITI
		Affidamento a titolo gratuito	20	20410470 - FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA
		Carico didattico	60	20410875 - FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING
TURCHET AMOS	60	Carico didattico	60	20410428 - CR510 - CRITTO SISTEMI ELLITTICI
DOCENTE NON DEFINITO	0			
<b>Totale ore</b>	<b>1208</b>			

## CONTENUTI DIDATTICI

### 20410757 - AM410 - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI

( AM410- MODULO A - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI )

**Docente:** ESPOSITO PIERPAOLO

#### Italiano

##### Prerequisiti

Calcolo differenziale in più variabili, teorema della divergenza.

##### Programma

Preliminari: definizione di iper-superficie, integrazione su iper-superfici, il teorema della divergenza; l'equazione di Laplace: le disuguaglianze di valor medio, il principio del minimo e del massimo, la disuguaglianza di Harnack, la rappresentazione di Green, l'integrale di Poisson, teoremi di convergenza, stime interne sulle derivate, il metodo di Perron per il problema di Dirichlet.

##### Testi

"Elliptic partial differential equations of second order. Reprint of the 1998 edition", D. Gilbarg e N.S. Trudinger, Classics in Mathematics, Springer-Verlag "Partial differential equations. Second edition", Lawrence C. Evans, Graduate Studies in Mathematics 19, American Mathematical Society

##### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

##### Modalità erogazione

Il corso prevede lezioni frontali. Non è necessaria ma fortemente consigliata la frequenza.

##### Modalità di valutazione

Risoluzione di esercizi a casa proposti dal docente.

#### English

##### Prerequisites

Differential calculus in several variables, divergence's theorem.

##### Programme

Preliminaries: definition of hyper-surface, integration on hyper-surfaces, the divergence theorem; the Laplace equation: the mean value inequalities, the minimum and maximum principle, the Harnack inequality, the Green representation, the Poisson integral, convergence's theorems, interior estimates on the derivatives, the Perron method for the Dirichlet problem.

##### Reference books

"Elliptic partial differential equations of second order. Reprint of the 1998 edition", D. Gilbarg e N.S. Trudinger, Classics in Mathematics, Springer-Verlag "Partial differential equations. Second edition", Lawrence C. Evans, Graduate Studies in Mathematics 19, American Mathematical Society

##### Reference bibliography

-

##### Study modes

-

##### Exam modes

-

### 20410757 - AM410 - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI

( AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI )

**Docente:** ESPOSITO PIERPAOLO

#### Italiano

##### Prerequisiti

Teoria di Lebesgue e spazi  $L^p$

##### Programma

Definizione e proprietà elementari degli spazi di Sobolev  $W^{1,p}(\#)$ . Operatori di prolungamento. Disuguaglianze di Sobolev. Lo spazio  $W^{1,p}_0(\#)$ . Formulazione variazionale di alcuni problemi ellittici ai limiti. Esistenza di soluzioni deboli. Regolarità delle soluzioni deboli.

##### Testi

"Analisi funzionale", H. Brézis, Liguori Editore "Partial differential equations. Second edition", Lawrence C. Evans, Graduate Studies in Mathematics 19, American Mathematical Society

##### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso prevede lezioni frontali. Non è necessaria ma fortemente consigliata la frequenza.

### Modalità di valutazione

Seminario su un argomento da concordare.

## English

### Prerequisites

Lebesgue's theory and  $L^p$  spaces

### Programme

Definition and basic properties of the Sobolev spaces  $W^{1,p}$  (#). Extension operators. Sobolev inequalities. The space  $W^{1,p}_0$  (#). Variational formulation of some elliptic boundary value problems. Existence of weak solutions. Regularity of weak solutions.

### Reference books

"Analisi funzionale", H. Brézis, Liguori Editore "Partial differential equations. Second edition", Lawrence C. Evans, Graduate Studies in Mathematics 19, American Mathematical Society

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410413 - AN410 - ANALISI NUMERICA 1

**Docente:** FERRETTI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

Algebra lineare di base, calcolo differenziale e integrale per funzioni di una variabile.

### Programma

Sistemi di equazioni lineari Metodi diretti: il metodo di eliminazione di Gauss. Strategie di pivoting. Il metodo di eliminazione come fattorizzazione. Le fattorizzazioni di Doolittle e Cholesky. Metodi iterativi: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR, Richardson e loro convergenza. Confronto tra metodi diretti ed iterativi. La stabilità degli algoritmi risolutivi per sistemi lineari. Metodi iterativi per equazioni scalari nonlineari Richiami sui teoremi di esistenza degli zeri. I metodi di bisezione, di Newton, delle secanti, delle corde e loro convergenza. (Riferimento: Capitolo 1 ad eccezione del paragrafo 1.2.3, e appendici A.1, A.2) Approssimazione di funzioni Strategie generali di approssimazione. Il polinomio interpolatore nella forma di Lagrange e di Newton. Rappresentazione dell'errore di interpolazione. Convergenza del polinomio interpolatore per funzioni analitiche. Strategie di infittimento dei nodi nell'interpolazione: nodi di Chebyshev e approssimazioni composite. Stima dell'errore. Polinomio di Hermite, costruzione e rappresentazione dell'errore. Approssimazioni per Errore Quadratico Minimo. (Riferimento: Capitolo 5 ad eccezione del paragrafo 5.2, e appendice A.4) Integrazione numerica Principi generali delle quadrature numeriche. Il teorema di Polya sulla convergenza delle quadrature interpolatorie. Le formule di Newton-Cotes chiuse ed aperte. Risultati di stabilità e stima dell'errore. Formule di Newton-Cotes generalizzate e loro convergenza. Quadrature gaussiane e loro convergenza. (Riferimento: Capitolo 6) Esercitazioni di laboratorio Implementazione in linguaggio C di alcuni tra gli algoritmi più significativi, in particolare: metodo di eliminazione di Gauss, metodi iterativi per sistemi lineari e per equazioni scalari, interpolazione di Lagrange o Newton con una strategia di infittimento. N.B.: I riferimenti sono dati sugli appunti del corso.

### Testi

Roberto Ferretti, "Appunti del corso di Analisi Numerica", disponibile in forma elettronica sulla bacheca elettronica del corso Roberto Ferretti, "Esercizi d'esame di Analisi Numerica", disponibile in forma elettronica sulla bacheca elettronica del corso Lucidi delle lezioni, disponibili in forma elettronica sulla bacheca elettronica del corso

### Bibliografia di riferimento

Quarteroni, Sacco, Saleri, Gervasio: Matematica Numerica (Springer)

### Modalità erogazione

Il corso si articola in lezioni frontali (dedicate agli aspetti teorici) e attività di laboratorio informatico (in cui si implementano i metodi numerici studiati).

### Modalità di valutazione

La parte di teoria si svolge mediante una prova scritta della durata di 2h30; la tipologia delle prove scritte si può capire meglio dalla raccolta dei testi di esame e di esonero (vedi pagina web del corso). La parte di laboratorio si svolge mediante una prova supplementare, consistente in: - discussione dettagliata dei programmi svolti nelle esercitazioni (studenti frequentanti il laboratorio); - breve (2h) prova di programmazione in C, su argomenti simili a quelli delle esercitazioni (studenti non frequentanti il laboratorio).

## English

## Prerequisites

Elementary linear algebra, basic calculus for univariate functions.

## Programme

Linear Systems Direct methods: Gaussian elimination. Pivoting strategies. Gaussian elimination as a factorization. Doolittle and Cholesky factorizations. Iterative methods: Jacobi, Gauss-Seidel, SOR, Richardson, and related convergence results. Comparison of direct vs iterative solvers. Stability of algorithms for the solution of linear systems. Iterative Methods for Scalar Nonlinear Equations The intermediate zero theorem. The algorithms of bisection, Newton, secants, chords, and related convergence results. (Reference: Chapter 1 excluding Section 1.2.3, and Appendices A.1, A.2) Approximation of Functions General approximation strategies. Interpolating polynomial in Lagrange and Newton form. Representation of the interpolation error. Convergence of the interpolating polynomial for analytic functions. Refinement strategies in interpolation: Chebyshev nodes, composite approximations. Error estimates. Hermite polynomial, construction and representation of the error. Least Squares approximations. (Reference: Chapter 5 excluding Section 5.2, and Appendix A.4) Numerical Integration General principles of numerical integration. Poly's Theorem on the convergence of interpolatory quadrature formulae. Closed and open Newton-Cotes formulae. Stability results and error estimation. Generalized Newton-Cotes formulae and their convergence. Gaussian quadratures and their convergence. (Reference: Chapter 6) Laboratory Activity C language coding of some of the major algorithms, and in particular: Gaussian elimination, iterative methods for linear systems and scalar equations, Lagrange/Newton interpolation with a refinement strategy. N.B.: References are provided with respect to the course notes.

## Reference books

Roberto Ferretti, "Appunti del corso di Analisi Numerica", available from the course page Roberto Ferretti, "Esercizi d'esame di Analisi Numerica", available from the course page Slides of the lessons, available from the course page

## Reference bibliography

Quarteroni, Sacco, Saleri, Gervasio: Numerical Mathematics (Springer)

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410420 - AN420 - ANALISI NUMERICA 2

**Docente:** FERRETTI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

Calcolo differenziale per funzioni di una o più variabili, algebra lineare di base, Equazioni Differenziali Ordinarie

### Programma

Equazioni Differenziali Ordinarie Approssimazioni alle differenze per Equazioni Differenziali Ordinarie: il metodo di Eulero. Consistenza, stabilità, stabilità assoluta. I metodi di Runge-Kutta del secondo ordine. Metodi ad un passo impliciti: i metodi di Eulero all'indietro e di Crank-Nicolson. La convergenza dei metodi ad un passo. Metodi a più passi: struttura generale, complessità, stabilità assoluta. Stabilità e consistenza dei metodi a più passi. Metodi di Adams. Metodi BDF. Metodi Predictor-Corrector. (Riferimento: Capitolo 7 della dispensa "Appunti del corso di Analisi Numerica") Schemi alle differenze per Equazioni a Derivate Parziali Generalità sulle approssimazioni alle differenze. Approssimazioni semidiscrete e loro convergenza. Teorema di Lax-Richtmeyer. L'equazione del trasporto: costruzione della soluzione con il metodo delle caratteristiche. Schema di approssimazione "upwind" semidiscreto e completamente discreto, consistenza e stabilità. L'equazione del calore: approssimazione di Fourier. Approssimazione per differenze centrate, sua consistenza e stabilità. L'equazione di Poisson: approssimazioni di Fourier e per differenze centrate, studio della convergenza. (Riferimento: Dispensa di R. LeVeque, "Finite Difference methods for differential equations", materiale selezionato dai capitoli 1, 2, 3, 12, 13) N.B.: I riferimenti sono dati sugli appunti del corso.

### Testi

Roberto Ferretti, "Appunti del corso di Analisi Numerica", disponibile in forma elettronica sotto la pagina del corso Roberto Ferretti, "Esercizi d'esame di Analisi Numerica", disponibile in forma elettronica sotto la pagina del corso Lucidi delle lezioni, disponibili in forma elettronica sotto la pagina del corso Materiale supplementare distribuito dal docente

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

corso di insegnamento frontale, con lezioni di laboratorio

### Modalità di valutazione

prova scritta teorica (2h30m) e prova di programmazione in matlab sui metodi numerici studiati (2h)

## English

### Prerequisites

Univariate and multivariate differential calculus, basic linear algebra, Ordinary Differential Equations

### Programme

Ordinary Differential Equations Finite difference approximation for ordinary differential equations: Euler's method. Consistency, stability, absolute stability. Second order Runge-Kutta methods. Single step implicit methods: backward Euler and Crank-Nicolson methods. Convergence of single step methods. Multi-step methods: general structure, complexity, absolute stability. Stability and consistency of multi-step methods. Adams methods, BDF methods, Predictor-Corrector methods. (Reference: Chapter 7 of course notes "Appunti del corso di Analisi Numerica") Partial Differential Equations Finite difference approximation for partial differential equations. Semi-discrete approximations and convergence. The Lax-Richtmeyer theorem. Transport equation: the method of characteristics. The "Upwind" (semi-discrete and fully-discrete) scheme, consistency and stability. Heat equation: Fourier approximation. Finite difference scheme, consistency and stability. Poisson equation: Fourier approximation. Finite difference scheme, convergence. (Reference: notes by R. LeVeque, "Finite Difference methods for differential equations", selected chapters 1, 2, 3, 12, 13)

### Reference books

Roberto Ferretti, "Appunti del corso di Analisi Numerica", in pdf on the course page Roberto Ferretti, "Esercizi d'esame di Analisi Numerica", in pdf on the course page Lecture slides in pdf on the course page Additional notes provided by the teacher

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410421 - AN430 - METODO DEGLI ELEMENTI FINITI

**Docente:** TERESI LUCIANO

### Italiano

#### Prerequisiti

Nozioni base del calcolo differenziale e integrale

#### Programma

Obiettivi L'obiettivo del corso è presentare il Metodo degli Elementi Finiti (MEF), uno dei metodi più utilizzati nel panorama delle tecniche numeriche per la soluzione di problemi scientifici basati su sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali. Gli studenti impareranno a utilizzare software per il calcolo scientifico basato sul MEF, e acquisiranno le competenze per implementare e risolvere alcuni problemi campione tipici della meccanica dei solidi, dei fluidi, e della fisica dei mezzi continui. Il corso tratterà il MEF sia dal punto di vista teorico che pratico, illustrando gli strumenti per la soluzione numerica delle equazioni classiche della fisica matematica, quali le equazioni ellittiche, iperboliche e paraboliche. 1. La Cassetta degli attrezzi La regola di Leibniz e il teorema della divergenza. La derivata debole. La nozione di funzioni generalizzate; la "delta" e il gradino. Le funzioni lisce a supporto compatto; le funzioni di saggio. Nozione di funzionale lineare, forma lineare e forma bilineare. Spazi funzionali, prodotto interno, norma e distanza. Teorema di rappresentazione di Riesz. Esempio prototipo di legge di bilancio. Il primo problema modello: il laplaciano e l'equazione del calore. Il secondo problema modello: la meccanica dei solidi. La formulazione debole del problema differenziale. Condizioni al contorno essenziali, naturali e miste. Relazioni tra formulazione debole, forte e variazionale. 2. Il Metodo di Galerkin Esempio base: laplaciano in 1D. Funzioni di forma lineari e quadratiche. Assemblaggio della matrice di rigidità e del vettore dei carichi. Confronto elementi finiti e differenze finite. Condizioni al bordo in forma debole e metodo dei moltiplicatori di Lagrange. 3. Il Metodo degli Elementi Finiti. Esempio base: laplaciano in 2D. Griglie triangolari. Funzioni di forma lineari a tratti. Funzioni di forma quadratiche e cubiche. Triangoli di Lagrange di ordine arbitrario. Griglie quadrilatere. 4. Analisi della convergenza Approssimazione di funzioni lisce con funzioni lineari a tratti. Raffinamento della griglie. Convergenza nella norma energia; convergenza nella norma L2. 5. Soluzione delle equazioni degli elementi finiti Matrici sparse. Metodi di soluzione diretta. Fattorizzazione di Cholesky. Precondizionamento, metodi iterative, iterazioni di Jacobi. Gradiente Coniugato (GC). Basi gerarchiche. Cenno la Metodo multigriglia. Metodi adattativi. Raffinamento locale delle griglie. Stima degli errori. 6. Problemi di trasporto. Implementazione e soluzione di problemi di diffusione-convezione. Criterio di Friederick-Lax-Courant. Stabilità delle soluzioni. Cenno ai metodi di stabilizzazione delle oscillazioni. Problemi di trasporto del tipo reazione-diffusione. 7. Meccanica dei Solidi Implementazione e soluzione di problemi campione della meccanica dei solidi; Elasticità lineare; materiali isotropi e non isotropi. Problemi di vibrazioni. Onde Elastiche. 8. Meccanica dei fluidi Esempi campione di problemi di fluidodinamica numerica. Equazione di Navier-Stokes.

#### Testi

1) Integral Form at a Glance, note a cura del docente 2) When functions have no value(s): Delta functions and distributions Steven G. Johnson, MIT course 18.303 notes, 2011 3) Understanding and Implementing the Finite Elements Method Mark S. Gockenbach, SIAM, 2006 Cap. 1 Some model PDE's Cap. 2 The weak form of a BVP Cap. 3 The Galerkin method Cap. 4 Piecewise polynomials and the finite element method (sections 4.1, 4.2) Cap. 5 Convergence of the finite element method (sections 5.1 ~ 5.4)

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni teoriche ed esercitazioni con software scientifico; una parte importante dell'insegnamento è dedicata alle esercitazioni che prevedono l'uso dei software COMSOL e Mathematica. COMSOL C01\_Rod1D\_traction. Esempio prototipo di problema ellittico. Introduzione alla forma integrale e al formato standard dei problemi di bilancio. C02\_Heat\_Equation. Esempio di problema parabolico. Introduzione ai problemi non stazionari; nozione di flusso, legame costitutivo anisotropo. Dissipazione. Nozione di compatibilità delle sorgenti. Nozione di vincolo in forma integrale (weak constraint), C03\_Heat\_Equation\_Conductive\_line. Primo esempio di accoppiamento multi-fisico; gerarchia delle strutture geometriche; associazione di un modello fisico ad un dominio C04a\_Heat\_2D\_Sphere. Primo esempio di dominio senza bordo: la sfera. Scompare la condizione al bordo; dominio curvo: definizione delle derivate tangenti. C04b\_Heat\_2D\_Torus. Secondo esempio di dominio senza bordo: il toro. C05\_Laplacian\_2D\_Ellipsoid\_Curvature. Terzo esempio di dominio senza bordo: l'ellissoide. La relazione costitutiva è definita in funzione delle curvature principali della superficie. C06\_L2\_Norm. Studio della convergenza per un problema parabolico. Effetto delle

funzioni di forma e della taglia del reticolo C07\_Iterative\_Solver. Gestione degli algoritmi di soluzione dei sistemi lineari; solutori iterativi e tecniche di pre-condizionamento. C08a\_Wave\_1D. Introduzione ai problemi non stazionari iperbolici. Conservazione energia e propagazione di onde elastiche C08b\_Wave\_1D\_InitialPulse. Equazione delle onde e risposta all'impulso. C08c\_Wave\_2D. Propagazione di onde in 2D. Mezzo anisotropo. C09a\_Convection\_Diffusion\_1D. Problema dell'interazione diffusione & convezione; instabilità delle soluzioni e metodi stabilizzanti C09b\_Convection\_Diffusion\_2D. Problema dell'interazione diffusione & convezione; raffinamento automatico della griglia di calcolo C10\_Stabilization. Problema oscillazioni per problemi diffusione & convezione; tecniche di stabilizzazione. C11\_Elastic\_Solid. Problema ellittico 3D per un campo vettoriale: la meccanica dei solidi e le distorsioni. C12\_Nonlinear\_Elastic\_Solid. La meccanica dei solidi non lineare e le grandi distorsioni. Soluzione con tecniche di continuazione. C13\_Segregated\_Solver. Problemi con accoppiamento unidirezionale e solutori segregati. C14\_Cylinder\_Flow. Problema parabolico 2D per un campo vettoriale: la meccanica dei fluidi. C15\_Navier\_Stokes\_L\_Junction\_2D. Esempio di meccanica dei fluidi. C16\_Buoyancy\_Free. Modello di trasporto con accoppiamento multi-fisico : calore trasportato da un fluido & fluido mosso da gradienti termici. C17\_Nematic\_Liquid\_Crystal. Esempio di problema con variabile di stato definita su una varietà curva. Accoppiamento campo nematico & campo elettrico Mathematica M01\_Test\_Function. Mathematica Notebook per lo studio delle funzioni di saggio M07\_Convection\_diffusion. Mathematica Notebook per lo studio delle oscillazioni nel problema diffusione + convezione

### Modalità di valutazione

Gli studenti dovranno scegliere un argomento da sviluppare tra quelli presentati durante le lezioni. Dovranno quindi preparare un testo scritto in cui viene descritto il problema e vengono discussi i risultati degli esperimenti numerici.

### English

#### Prerequisites

Basic knowledge of Calculus

#### Programme

The purpose of this course is to give a brief introduction to the Finite Elements Method (FEM), a gold standard for the numerical solution of PDEs systems. Oddly enough, the widespread use of the FEM is not accompanied by an adequate knowledge of the mathematical framework underlying the method. This course, starting from the weak formulation of balance equations, will give an overview of the techniques used to reduce a differential problem into an algebraic one. During the course, some selected problems in mechanics and physics will be solved, covering the three main types of equations: elliptic, parabolic and hyperbolic. The course will cover the following topics: - Applied Linear Algebra. - Boundary Value Problems. - Initial Value Problems Moreover, the students will be introduced to the use COMSOL Multiphysics, a scientific software for numerical simulations based on the Finite Element Method.

#### Reference books

1) Integral Form at a Glance, note a cura del docente 2) When functions have no value(s): Delta functions and distributions Steven G. Johnson, MIT course 18.303 notes, 2011 3) Understanding and Implementing the Finite Elements Method Mark S. Gockenbach, SIAM, 2006 Cap. 1 Some model PDE's Cap. 2 The weak form of a BVP Cap. 3 The Galerkin method Cap. 4 Piecewise polynomials and the finite element method (sections 4.1, 4.2) Cap. 5 Convergence of the finite element method (sections 5.1 ~ 5.4)

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410447 - CP410 - TEORIA DELLA PROBABILITÀ

**Docente:** CANDELLERO ELISABETTA

### Italiano

#### Prerequisites

E' preferibile che lo studente abbia compreso ed assimilato i contenuti principali dei corsi CP210, AM110, AM120, AM210, AM220, AM300/AM310. Non e' richiesto che tali esami siano stati verbalizzati, tuttavia nel corso verranno utilizzati strumenti introdotti in tali corsi.

#### Programma

Processo di ramificazione. Introduzione alle Sigma algebre, spazi misurabili, spazi di probabilita'. Costruzione della misura di Lebesgue. Pi-sistemi, Lemma di Dynkin, Lemma di unicita' della misura. Prime proprieta' della misura, limite inferiore e superiore di eventi. Funzioni misurabili. Variabili aleatorie. Lemmi di Borel-Cantelli. Legge e funzione di distribuzione di una variabile aleatoria. Indipendenza. Convergenza in probabilita' e convergenza quasi certa. Teorema di rappresentazione di Skorokhod. Legge 0-1 di Kolmogorov. Definizione generale di integrale e prime proprieta'. Teoremi di passaggio al limite sotto il segno di integrale. Valore atteso di una variabile aleatoria, fattorizzazione del valore atteso per variabili indipendenti. Disuguaglianze di Markov, Jensen, Hoelder. Spazi  $L^p$ . Teorema di Weierstrass con polinomi di Bernstein. Spazi di misura prodotto e misure prodotto. Teorema di Fubini. Leggi congiunte. Attesa condizionata e sue proprieta'. Martingale. Processi prevedibili. Tempi di arresto e processi arrestati. Teorema di optional stopping di Doob. Applicazioni alle passeggiate aleatorie. Teorema di convergenza per martingale limitate in  $L^1$  e per martingale limitate in  $L^2$ . Legge forte con momento secondo. Legge forte dei grandi numeri di Kolmogorov. Disuguaglianze di Doob per sub-martingale e applicazioni. Teorema di inversione. Trasformata di Fourier in  $L^1$  e funzione caratteristica. Equivalenza tra convergenza in distribuzione e convergenza di funzioni caratteristiche. Teorema del limite centrale.

#### Testi

D. Williams, Probability with martingales R. Durrett, Probability: Theory and examples

#### Bibliografia di riferimento

D. Williams, Probability with martingales R. Durrett, Probability: Theory and examples

### Modalità erogazione

Preferibilmente in presenza

### Modalità di valutazione

La prova scritta (in alternativa, le prove in itinere) consisteranno di soli esercizi. Durata prevista: 2 ore. Per la prova orale si inizierà con domande relative agli eventuali errori commessi nello scritto e successivamente verranno richieste alcune delle dimostrazioni dei risultati fondamentali visti in classe.

## English

### Prerequisites

Students should have understood and be familiar with the main concepts introduced in the courses CP210, AM110, AM120, AM210, AM220, AM300/AM310. However, students are not required to have passed such exams to attend CP410.

### Programme

Branching processes, introduction to Sigma-algebras, measure spaces and probability spaces. Construction of Lebesgue measure. Pi-systems, Dynkin's lemma. Properties of measures, sup and inf limits of events, measurable functions and random variables. Borel-Cantelli lemmas. Law and distribution of a random variable. Concept of independence. Convergence in probability and almost sure convergence. Skorokhod's representation theorem. Kolmogorov's 0-1 law. Integrals, their properties and related theorems. Expectation of random variables. Markov, Jensen and Hoelder's inequalities.  $L^p$  spaces. Weierstrass' Theorem. Product measures, Fubini's theorem and joint laws. Conditional expectation and its properties. Martingales, predictable processes. Stopping times and stopped processes. Optional stopping theorem, applications to random walks. Theorems about convergence of martingales. Strong law of large numbers. Doob's inequalities for martingales and sub-martingales, applications. Characteristic functions and inversion theorem. Fourier transform in  $L^1$ . Equivalence between convergence in distribution and convergence of characteristic functions. Central limit theorem.

### Reference books

D. Williams, Probability with martingales R. Durrett, Probability: Theory and examples

### Reference bibliography

D. Williams, Probability with martingales R. Durrett, Probability: Theory and examples

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410441 - CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI

**Docente:** MARTINELLI FABIO

## Italiano

### Prerequisiti

Un corso base di teoria della probabilità

### Programma

1. Passeggiate aleatorie e Catene di Markov Successioni di variabili aleatorie. Passeggiate aleatorie. Catene di Markov a tempo discreto e tempo continuo. Misura invariante, time-reversal e reversibilità 2. Esempi e modelli classici. Passeggiate aleatorie su grafi. Processi di nascita e morte. Processi di esclusione. Metodo Monte Carlo: algoritmi di tipo Metropolis e dinamiche di Glauber per il modello di Ising, colorazioni di un grafo e altri sistemi interagenti. 3. Convergenza all'equilibrio I. Distanza in variazione, tempi di mixing. Teoremi ergodici. Tecniche di accoppiamento. Tempi stazionari forti. Applicazioni al problema del "coupon collector" e al mescolamento di un mazzo di carte. 4. Convergenza all'equilibrio II. Gap spettrale e stime dei tempi di rilassamento. Disuguaglianza di Cheeger, conduttanza e metodo dei cammini. Metodo della "comparazione". Gap spettrale per il processo di esclusione sul toro d-dimensionale. Convergenza all'equilibrio in termini di entropia e disuguaglianze di Sobolev logaritmiche. Esempi. 5. Altri argomenti scelti. Dinamica di Glauber per il modello di Ising: transizione di fase dinamica per il modello di campo medio e per il modello su reticolo. Il fenomeno del "cut-off". Disuguaglianze di Sobolev logaritmiche e convergenza all'equilibrio. Algoritmi per la "simulazione perfetta".

### Testi

Testo principale: D. Levine, Y. Peres, E. Wilmer, Markov chains and mixing times.. AMS bookstore, (2009). testo aggiuntivo: Luca Leuzzi, Enzo Marinari, Giorgio Parisi CALCOLO DELLE PROBABILITÀ: un trattatello per principianti volenterosi

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni tradizionali in aula con ausilio di esercizi alla lavagna; eventuale erogazione anche a distanza verrà confermata dal docente

### Modalità di valutazione

Colloquio orale di circa 45 minuti

## English

## Prerequisites

A basic course in probability theory

## Programme

1. Random walks and Markov Chains. Sequence of random variables, random walks, Markov chains in discrete and continuous time. Invariant measures, reversibility. 2. Classical examples. Random walks on graphs, Birth and death chains, exclusion process. Markov Chain Monte Carlo: Metropolis and Glauber dynamics for the Ising model, colorings and other interacting particle systems. 3. Convergence to equilibrium I. Variation distance and mixing time. Ergodic theorems and coupling techniques. Strong stationary times. The coupon collector problem and card shuffling. 4. Convergence to equilibrium II. Spectral gap and relaxation times. Cheeger inequality, conductance and canonical paths. Comparison method and spectral gap for the exclusion process. Logarithmic Sobolev inequality. 5. Other topics: Glauber dynamics for the Ising model, phase transition, cutoff phenomenon, perfect simulation.

## Reference books

Main reference: D. Levine, Y. Peres, E. Wilmer, Markov chains and mixing times.. AMS bookstore, (2009). Additional reference (in Italian) Luca Leuzzi, Enzo Marinari, Giorgio Parisi CALCOLO DELLE PROBABILITÀ: un trattatello per principianti volenterosi

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410625 - CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA

( CR410-CRITTOGRAFIA A CHIAVE PUBBLICA - MODULO A )

**Docente:** MEROLA FRANCESCA

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenze di base di algebra.

### Programma

Introduzione alla crittografia. Cenni storici. Definizione di crittosistema. Cifrari classici. Introduzione alla crittoanalisi. Introduzione alla crittografia a chiave pubblica. Il crittosistema RSA. Test di primalità. Algoritmi di fattorizzazione. Alcuni attacchi all'RSA. Il problema del logaritmo discreto. Scambio della chiave di Diffie-Hellman. Il crittosistema di Elgamal. il crittosistema di Massey-Omura. Firma digitale. Cenni su alcuni protocolli crittografici.

### Testi

Baldoni, Ciliberto, Piacentini: Aritmetica, crittografia e codici D. Stinson: Cryptography - theory and practice

### Bibliografia di riferimento

Baldoni, Ciliberto, Piacentini: Aritmetica, crittografia e codici D. Stinson: Cryptography - theory and practice

### Modalità erogazione

lezioni in presenza: ci sarà anche probabilmente la possibilità di seguire online

### Modalità di valutazione

prova scritta: di norma 4 esercizi teorico/pratici, durata di norma 2 ore e 30. prova orale: facoltativa per una votazione  $\leq 26$

## English

### Prerequisites

Basic knowledge of algebra.

### Programme

Introduction to cryptography. Classic ciphers. Introduction to cryptanalysis. Introduction to public-key cryptography. The RSA cryptosystem. Primality tests. Factorization algorithms. Some attacks on the RSA. The discrete logarithm problem. Diffie-Hellman key exchange. Elgamal cryptosystem. Massey-Omura cryptosystem. Digital signatures. Overview of some cryptographic protocols.

### Reference books

Baldoni, Ciliberto, Piacentini: Aritmetica, crittografia e codici D. Stinson: Cryptography - theory and practice

### Reference bibliography

Baldoni, Ciliberto, Piacentini: Aritmetica, crittografia e codici D. Stinson: Cryptography - theory and practice

### Study modes

-

### Exam modes

## 20410428 - CR510 – CRITTOSISTEMI ELLITTICI

**Docente:** TURCHET AMOS

### Italiano

#### Prerequisiti

Algebra Lineare, Geometria Affine e Proiettiva, Gruppi, Anelli e Campi.

#### Programma

- Curve affini e proiettive - Cubiche e curve ellittiche - Legge di gruppo e equazioni di curve ellittiche - Isogenie - Punti di torsione - Curve ellittiche su campi finiti e il teorema di Hasse - Richiami di Crittosistemi simmetrici e a chiave pubblica - Algoritmi sulle curve ellittiche: Double and Add e l'algoritmo di Schoof - Algoritmi di chiave pubblica e firma digitale su curve ellittiche - Pairing di Weil e Identity based elliptic cryptosystems

#### Testi

Dispense del Docente

#### Bibliografia di riferimento

Silverman - The Arithmetic of Elliptic Curves, Springer 1986 Milne - (WSPC; 2nd edition (August 21, 2020) Washington - Elliptic Curves: Number Theory and Cryptography (Chapman and Hall/CRC; 2nd edition 2008)

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali tenute dal docente

#### Modalità di valutazione

Prova orale consistente di un breve seminario su argomento concordato con il docente a cui segue orale tradizionale sui teoremi svolti in classe (da una lista prestabilita)

### English

#### Prerequisites

Linear algebra, Affine and Projective geometry, Groups, Rings and Fields.

#### Programme

- Affine and projective curves - Cubics and elliptic curves - The group law and equations of elliptic curves - Isogenies - Torsion points - Elliptic curves over finite fields and Hasse's Theorem - Brief discussion of symmetric and public key cryptosystems - Algorithms on Elliptic Curves: Double and Add and Schoof Algorithm - Public Key and Digital Signature algorithms on Elliptic Curves - Weil Pairing and Identity based elliptic cryptosystems

#### Reference books

Professor notes

#### Reference bibliography

Silverman - The Arithmetic of Elliptic Curves, Springer 1986 Milne - (WSPC; 2nd edition (August 21, 2020) Washington - Elliptic Curves: Number Theory and Cryptography (Chapman and Hall/CRC; 2nd edition 2008)

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410416 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA

( FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - Modulo B )

**Docente:** REUVERS Robin Johannes Petrus

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Angoli di Eulero. Equazioni di Eulero per la dinamica del corpo rigido. Integrabilità del corpo rigido con un punto non sottoposto a forze. Trotola di Lagrange. Teorema di Arnold-Liouville. Variabili azione-angolo per l'oscillatore armonico e per il problema dei due corpi. Formulazione in variabili azione-angolo del problema dei 3 corpi ristretto. Calcolo della precessione del perielio di Mercurio. Cenni alla teoria KAM sulla convergenza della teoria delle perturbazioni classica. Cenni alla teoria statistica del moto: sistemi integrabili, quasi-integrabili e caotici. Dimostrazione del riempimento denso e uniforme del toro da parte del flusso quasi-periodico irrazionale. Frequenze di visita.

#### Testi

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica, Editori Riuniti, Roma, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P.

Boringhieri, Torino, 1986 G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici, 1 (Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni) e 2 (Meccanica lagrangiana e hamiltoniana) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Roma, 1976

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

letture frontali in aula

### Modalità di valutazione

L'esame consiste nella soluzione di un foglio di esercizi assegnati a > lezione, da restituire risolti entro l'esame orale, e in un colloquio > orale su una selezione degli argomenti trattati, da concordare col > docente

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Euler angles. Euler's equations for body dynamics rigid. Integrability of the rigid body with a point not subjected to strength. Lagrange spinning top. Arnold–Liouville theorem. Variables action-angle for the harmonic oscillator and for the problem of the two bodies. Formulation in action-angle variables of the 3 problem bodies restricted. Calculation of the precession of Mercury's perihelion. Notes on the KAM theory on the convergence of the theory of classic perturbations. Notes on the statistical theory of motion: integrable, quasi-integrable and chaotic systems. Demonstration of the dense and uniform filling of the torus by the flow quasi-periodic irrational. Visiting frequencies.

#### Reference books

V.I. Arnol'd, Mathematical Methods of Classical Mechanics, Editori Riuniti, Rome, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P. Boringhieri, Turin, 1986 G. Gentile, Introduction to systems dynamics, 1 (Ordinary differential equations, qualitative analysis and some applications) and 2 (Lagrangian and Hamiltonian mechanics) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Rome, 1976

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410416 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA

( FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - Modulo A )

**Docente:** REUVERS Robin Johannes Petrus

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Sistemi dinamici lineari. Oscillatore armonico forzato con o senza attrito. Teoremi di stabilità. Risonanza parametrica. Catena di oscillatori armonici accoppiati: limite del continuo e equazioni della corda vibrante. Diffusione elastica classica. Integrali primi nascosti nel problema dei due corpi e nel problema dell'oscillatore armonico tridimensionale.

#### Testi

V.I. Arnol'd, Metodi Matematici della Meccanica Classica, Editori Riuniti, Roma, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P. Boringhieri, Torino, 1986 G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici, 1 (Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni) e 2 (Meccanica lagrangiana e hamiltoniana) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Roma, 1976

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula

### Modalità di valutazione

L'esame consiste nella soluzione di un foglio di esercizi assegnati a > lezione, da restituire risolti entro l'esame orale, e in un colloquio > orale su una selezione degli argomenti trattati, da concordare col > docente

### English

#### Prerequisites

none

## Programme

Linear dynamical systems. Forced harmonic oscillator with or without friction. Stability theorems. Parametric resonance. Chain of coupled harmonic oscillators: continuum limit and equations of vibrating rope. Classic elastic diffusion. Hidden prime integrals in the two-body problem and the harmonic oscillator problem

## Reference books

.I. Arnol'd, Mathematical Methods of Classical Mechanics, Editors Riuniti, Rome, 1979 G. Gallavotti, Meccanica Elementare, ed. P. Boringhieri, Turin, 1986 G. Gentile, Introduction to systems dynamics, 1 (Ordinary differential equations, qualitative analysis and some applications) and 2 (Lagrangian and Hamiltonian mechanics) L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Meccanica, Editori Riuniti, Rome, 1976

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410470 - FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA

**Docente:** TERESI LUCIANO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenze di base di analisi

### Programma

L'insegnamento FM510 – Applicazioni della Fisica Matematica è diviso in due moduli, focalizzati su temi specifici, in cui l'aspetto modellistico-teorico è sempre accompagnato dalla simulazione di esperimenti. Modulo I: Geometria e Meccanica. L'obiettivo di questo modulo è mostrare i legami tra modellazione fisica e geometria differenziale, discutendo i fondamenti della meccanica dei mezzi continui. In particolare, si mostra come ogni modello tipico della fisica-matematica sia basato su due strati: su uno strato fisico - il fenomeno da osservare - ed uno strato matematico, utilizzato per rappresentare il fenomeno fisico. Per ogni modello presentato verrà discusso prima l'aspetto teorico, mostrando come ogni nozione che compare ha un doppio ruolo, matematico e fisico; in seguito, il modello sarà utilizzato nella risoluzione di problemi concreti per il tramite di sperimentazioni numeriche. Saranno considerate applicazioni, a scelta dello studente, con sperimentazione numerica, come: • Modelli per lo studio della 'Active Soft Matter'; • Modelli per Liquid Crystals; • Modelli per la Fluid Dynamics. Modulo II: modelli di meccanica statistica per problemi complessi Obiettivo del secondo modulo è di applicare modelli di meccanica statistica e tecniche probabilistiche allo studio di problemi complessi. Verranno richiamati, anche dal punto di vista della simulazione numerica, alcuni modelli come: • Modello di Ising e di gas su reticolo, con riferimento alla transizione di fase e alla metastabilità; • Modello di Curie-Weiss; • Random Cluster Model e modello di Potts; • Catene di Markov e Markov Chain Monte Carlo, Gibbs sampler e algoritmo Metropolis con particolare attenzione alla convergenza e al tempo di mixing; • Algoritmo di Propp-Wilson, simulazione perfetta e "sandwiching". Saranno considerate applicazioni, a scelta dello studente, con sperimentazione numerica, come: • Problemi di ottimizzazione (es. massima clique) • Altri modelli: q-coloring, modello hard-core, random walk su iper-cubo • Diffusione di epidemie o di opinione (contact process, diffusione di innovazioni in rete) • modelli per spinglass • modelli per reti neurali

### Testi

Dispense a cura del docente; software per il calcolo scientifico messo a disposizione dal CdS

### Bibliografia di riferimento

Tonti E. The reason for analogies between physical theories. Applied Mathematical Modelling. 1976  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Enzo\\_Tonti](https://en.wikipedia.org/wiki/Enzo_Tonti)

### Modalità erogazione

Lezioni teoriche ed esercitazioni con software scientifico.

### Modalità di valutazione

Gli studenti dovranno scegliere un argomento da sviluppare tra quelli presentati durante le lezioni. Dovranno quindi preparare un testo scritto in cui viene descritto il problema, e vengono discussi i risultati degli esperimenti numerici.

## English

### Prerequisites

Basic notions of analysis

### Programme

The course FM510 – Applicazioni della Fisica Matematica (Application of Mathematics to Problems in Physics), is split into two modules, each with a specific focus; both modules comprehend a theoretical part and numerical simulations. Module Geometry and Mechanics. The goal of this module is to show the relations between physical modeling and differential geometry, by discussing the fundamentals of continuum mechanics, and showing how each physical notion has its mathematical counterpart, aimed at representing the physical phenomenon under investigation. During the module, we shall consider various applications where theory is followed by numerical experiments; suggested applications are: • Modeling of Active Soft Matter; • Modeling of Liquid Crystals; • Modeling for Fluid Dynamics. Module Statistical Mechanics for Complex System. In this module a selection of statistical-mechanics models and probabilistics techniques will be applied to the study of complex system. In particular, the following models will be both studied from the

theoretical point of view and solved with computer simulations: • Ising model and gas on a lattice, including phase transitions and metastability. • Curie-Weiss modeling; • Random Cluster Model and Potts model; • Markov Chain, including Monte-Carlo Chain; Gibbs sampler and Metropolis algorithm, including convergence and mixing time; • Propp-Wilson Algorithm, "perfect simulation" and "sandwiching". Students will be able to select other applications among the following list: • Optimization (example max clique) • Q-coloring, hard-core, random walk on hyper-cube • Diffusion models: epidemics; sentiment (contact process) • Spinglass • Neuronal Networks

### Reference books

Lecture notes; scientific software.

### Reference bibliography

Tonti E. The reason for analogies between physical theories. Applied Mathematical Modelling. 1976  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Enzo\\_Tonti](https://en.wikipedia.org/wiki/Enzo_Tonti)

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410470 - FM510 - APPLICAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA

**Docente:** SCOPPOLA ELISABETTA

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenze di base di analisi

#### Programma

Il parte- Modelli di meccanica statistica - Dinamiche stocastiche e loro applicazioni Sono costruiti modelli matematici per studiare diversi problemi, come propagazione di epidemie, problemi di campionamento, problemi di ottimizzazione, problemi fisici legati all'interazione di molte particelle, con particolare attenzione alla loro simulazione numerica. Le esercitazioni di laboratorio sono parte essenziale del corso. Sono applicati modelli di meccanica statistica, come il modello di Ising, e strumenti di probabilità, come le catene di Markov, con richiami della teoria relativa.

#### Testi

S.Freidli and Y.Velenik : Statistical Mechanics of Lattice Systems - A concrete mathematical introduction. In rete O.H"aggstr"om: Finite Markov Chain and Algorithmic Applications, London Mathematical Society-Student Texts 52

#### Bibliografia di riferimento

Dropbox del corso in rete.

#### Modalità erogazione

Lezioni teoriche ed esercitazioni con software scientifico.

#### Modalità di valutazione

Gli studenti dovranno scegliere un argomento da sviluppare tra quelli presentati durante le lezioni. Dovranno quindi preparare un testo scritto in cui viene descritto il problema, e vengono discussi i risultati degli esperimenti numerici.

### English

#### Prerequisites

Basic notions of analysis

#### Programme

Part II- Statistical Mechanics models - Stochastic dynamics and applications Mathematical model of different problems are presented as spread of epidemics, sample problems, optimisation problems, physical problems, with numerical simulations. Laboratory exercises are an essential part of the course. Statistical Mechanics models, as the Ising model, and probability tools, as Markov Chain, are applied, with references to relative theory.

#### Reference books

S.Freidli and Y.Velenik : Statistical Mechanics of Lattice Systems - A concrete mathematical introduction. In rete O.H"aggstr"om: Finite Markov Chain and Algorithmic Applications, London Mathematical Society-Student Texts 52

#### Reference bibliography

Dropbox on line.

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410875 - FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING

**Docente:** TERESI LUCIANO

## Italiano

### Prerequisiti

Nozioni base di algebra matriciale e calcolo differenziale.

### Programma

Highlights of Linear Algebra: Matrix-matrix multiplication; column & row space; rank The four fundamental subspaces of linear algebra Fundamentals of Matrix factorizations:  $A=LU$  rows & columns point of view  $A=LU$  elimination & factorization; permutations  $A=RU=VU$ ; Orthogonal matrices Eigensystems and Linear ODE Intro to PSym; the energy function Gradient and Hessian Singular Value Decomposition Eckart-Young; derivative of a matrix norm Principal Component Analysis Generalized e vectors; Norms Least Squares Convexity & Newton's method Newton & L-M method; Recap of non-linear regression Lagrange multipliers Machine Learning: Gradient Descend; exact line search; GD in action; GD with Matlab Learning & Loss; Intro to Deep Neural Network; DNN with Matlab Loss functions: Quadratic VS Cross entropy Stocastics Gradient Descend (SGD) & Kaczmarcz; SGD convergence rates & ADAM Matlab interface for DNN Construction of DNN: the key steps Backpropagation and the Chain Rule Machine Learning examples with Wolfram Mathematica Convolutional NN + Mathematica examples of 1D convolution Convolution and 2D filters + Mathematica examples of 2D convolution Matlab Live Script, Network Designer, Pretrained Net

### Testi

Dispense a cura del docente

### Bibliografia di riferimento

Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville Deep Learning, MIT Press, 2016 <http://www.deeplearningbook.org> G. Strang, Linear Algebra and Learning from Data, Wellesley-Cambridge Press M. Nielsen, Neural Networks and Deep Learning (free online book) <http://neuralnetworksanddeeplearning.com> Various authors, Distill, dedicated to clear explanations of machine learning <https://distill.pub>

### Modalità erogazione

Lezioni teoriche ed esercitazioni con software scientifico; una parte importante dell'insegnamento è dedicata alle esercitazioni che prevedono l'uso dei software Matlab e Mathematica.

### Modalità di valutazione

Gli studenti dovranno scegliere un argomento da sviluppare tra quelli presentati durante le lezioni. Dovranno quindi preparare un testo scritto in cui viene descritto il problema, e vengono discussi i risultati degli esperimenti numerici.

## English

### Prerequisites

Basic knowledge of matrix algebra and multivariate calculus

### Programme

Highlights of Linear Algebra: Matrix-matrix multiplication; column & row space; rank The four fundamental subspaces of linear algebra Fundamentals of Matrix factorizations:  $A=LU$  rows & columns point of view  $A=LU$  elimination & factorization; permutations  $A=RU=VU$ ; Orthogonal matrices Eigensystems and Linear ODE Intro to PSym; the energy function Gradient and Hessian Singular Value Decomposition Eckart-Young; derivative of a matrix norm Principal Component Analysis Generalized e vectors; Norms Least Squares Convexity & Newton's method Newton & L-M method; Recap of non-linear regression Lagrange multipliers Machine Learning: Gradient Descend; exact line search; GD in action; GD with Matlab Learning & Loss; Intro to Deep Neural Network; DNN with Matlab Loss functions: Quadratic VS Cross entropy Stocastics Gradient Descend (SGD) & Kaczmarcz; SGD convergence rates & ADAM Matlab interface for DNN Construction of DNN: the key steps Backpropagation and the Chain Rule Machine Learning examples with Wolfram Mathematica Convolutional NN + Mathematica examples of 1D convolution Convolution and 2D filters + Mathematica examples of 2D convolution Matlab Live Script, Network Designer, Pretrained Net

### Reference books

Lecture notes

### Reference bibliography

Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville Deep Learning, MIT Press, 2016 <http://www.deeplearningbook.org> G. Strang, Linear Algebra and Learning from Data, Wellesley-Cambridge Press M. Nielsen, Neural Networks and Deep Learning (free online book) <http://neuralnetworksanddeeplearning.com> Various authors, Distill, dedicated to clear explanations of machine learning <https://distill.pub>

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410875 - FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING

**Docente:** GIULIANI ALESSANDRO

## Italiano

### Prerequisiti

Nozioni base di algebra matriciale e calcolo differenziale.

## Programma

Highlights of Linear Algebra: Matrix-matrix multiplication; column & row space; rank The four fundamental subspaces of linear algebra  
Fundamentals of Matrix factorizations:  $A=LU$  rows & columns point of view  $A=LU$  elimination & factorization; permutations  $A=RU=VU$ ;  
Orthogonal matrices Eigensystems and Linear ODE Intro to PSym; the energy function Gradient and Hessian Singular Value  
Decomposition Eckart-Young; derivative of a matrix norm Principal Component Analysis Generalized e vectors; Norms Least Squares  
Convexity & Newton's method Newton & L-M method; Recap of non-linear regression Lagrange multipliers Machine Learning: Gradient  
Descend; exact line search; GD in action; GD with Matlab Learning & Loss; Intro to Deep Neural Network; DNN with Matlab Loss  
functions: Quadratic VS Cross entropy Stocastics Gradient Descend (SGD) & Kaczmarcz; SGD convergence rates & ADAM Matlab  
interface for DNN Construction of DNN: the key steps Backpropagation and the Chain Rule Machine Learning examples with Wolfram  
Mathematica Convolutional NN + Mathematica examples of 1D convolution Convolution and 2D filters + Mathematica examples of 2D  
convolution Matlab Live Script, Network Designer, Pretrained Net

## Testi

Dispense a cura del docente

## Bibliografia di riferimento

Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville Deep Learning, MIT Press, 2016 <http://www.deeplearningbook.org> G. Strang,  
Linear Algebra and Learning from Data, Wellesley-Cambridge Press M. Nielsen, Neural Networks and Deep Learning (free online book)  
<http://neuralnetworksanddeeplearning.com> Various authors, Distill, dedicated to clear explanations of machine learning <https://distill.pub>

## Modalità erogazione

Lezioni teoriche ed esercitazioni con software scientifico; una parte importante dell'insegnamento è dedicata alle esercitazioni che prevedono l'uso dei software Matlab e Mathematica.

## Modalità di valutazione

Gli studenti dovranno scegliere un argomento da sviluppare tra quelli presentati durante le lezioni. Dovranno quindi preparare un testo scritto in cui viene descritto il problema, e vengono discussi i risultati degli esperimenti numerici.

## English

### Prerequisites

Basic knowledge of matrix algebra and multivariate calculus

### Programme

Highlights of Linear Algebra: Matrix-matrix multiplication; column & row space; rank The four fundamental subspaces of linear algebra  
Fundamentals of Matrix factorizations:  $A=LU$  rows & columns point of view  $A=LU$  elimination & factorization; permutations  $A=RU=VU$ ;  
Orthogonal matrices Eigensystems and Linear ODE Intro to PSym; the energy function Gradient and Hessian Singular Value  
Decomposition Eckart-Young; derivative of a matrix norm Principal Component Analysis Generalized e vectors; Norms Least Squares  
Convexity & Newton's method Newton & L-M method; Recap of non-linear regression Lagrange multipliers Machine Learning: Gradient  
Descend; exact line search; GD in action; GD with Matlab Learning & Loss; Intro to Deep Neural Network; DNN with Matlab Loss  
functions: Quadratic VS Cross entropy Stocastics Gradient Descend (SGD) & Kaczmarcz; SGD convergence rates & ADAM Matlab  
interface for DNN Construction of DNN: the key steps Backpropagation and the Chain Rule Machine Learning examples with Wolfram  
Mathematica Convolutional NN + Mathematica examples of 1D convolution Convolution and 2D filters + Mathematica examples of 2D  
convolution Matlab Live Script, Network Designer, Pretrained Net

### Reference books

Lecture notes

### Reference bibliography

Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville Deep Learning, MIT Press, 2016 <http://www.deeplearningbook.org> G. Strang,  
Linear Algebra and Learning from Data, Wellesley-Cambridge Press M. Nielsen, Neural Networks and Deep Learning (free online book)  
<http://neuralnetworksanddeeplearning.com> Various authors, Distill, dedicated to clear explanations of machine learning <https://distill.pub>

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410436 - FS420 - MECCANICA QUANTISTICA

**Docente:** LUBICZ VITTORIO

## Italiano

### Prerequisiti

Non sono previsti insegnamenti propedeutici a questo corso. È consigliata una conoscenza della fisica generale classica e delle basi del formalismo Hamiltoniano.

### Programma

Crisi della fisica classica. Onde e particelle. Vettori di stato ed operatori. Misure, osservabili e relazione di indeterminazione. Operatore di posizione. Traslazioni e impulso. Evoluzione temporale ed equazione di Schrödinger. Problemi unidimensionali. Parità. Oscillatore armonico. Simmetrie e leggi di conservazione. Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo.

## Testi

ITALIANO Dispense disponibili sul sito del corso J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli

## Bibliografia di riferimento

R.P. Feynman et al. - La Fisica di Feynman, Volume III - Masson L. Landau e E. Lifschitz - Meccanica Quantistica - Editori Riuniti S. Gasiorowicz - Quantum Physics - J.Wiley & Sons

## Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni teoriche frontali, svolte dal docente titolare del corso, ed esercitazioni, svolte in parte dal docente titolare e in parte da un altro docente. Sia le lezioni che le esercitazioni vengono svolte in classe e alla lavagna (elettronica o a gesso). Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche.

## Modalità di valutazione

L'esame consiste in una prova scritta, che prevede la risoluzione di uno o più esercizi, e di una prova orale. Lo svolgimento della prova scritta e' facoltativo. I compiti scritti di esame e quelli delle prove in itinere degli anni precedenti sono disponibili sul sito del corso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di valutazione degli studenti.

## English

### Prerequisites

No preparatory courses are planned for this course. A knowledge of classical general physics and of the basics of the Hamiltonian formalism is recommended.

### Programme

The crisis of classical physics. Waves and particles. State vectors and operators. Measurements, observables and uncertainty relation. The position operator. Translations and momentum. Time evolution and the Schrödinger equation. One-dimensional problems. Parity. Harmonic oscillator. Symmetries and conservation laws. Time independent perturbation theory. Time dependent perturbation theory.

### Reference books

Lecture notes available on the course website J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli An english version of the book is also available: Sakurai J.J., Modern Quantum Mechanics - Addison-Wesley

### Reference bibliography

R.P. Feynman et al. - The Feynman Lectures on Physics, Volume III - Addison Wesley Also in "The Feynman Lectures on Physics on line" - feynmanlectures.caltech.edu - Caltech L. Landau e E. Lifschitz - Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory - Elsevier Butterworth-Heinemann S. Gasiorowicz - Quantum Physics - J.Wiley & Sons

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410436 - FS420 - MECCANICA QUANTISTICA

**Docente:** TARANTINO CECILIA

## Italiano

### Prerequisiti

Non sono previsti insegnamenti propedeutici a questo corso. È consigliata una conoscenza della fisica generale classica e delle basi del formalismo Hamiltoniano.

### Programma

Meccanica quantistica: Crisi della fisica classica. Onde e particelle. Vettori di stato ed operatori. Misure, osservabili e relazione di indeterminazione. Operatore di posizione. Traslazioni e impulso. Evoluzione temporale ed equazione di Schrödinger. Problemi unidimensionali. Parità. Oscillatore armonico. Simmetrie e leggi di conservazione. Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo. Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo. Rotazioni e momento angolare. Momento angolare orbitale. Spin. Composizione di momenti angolari. Particelle identiche. Atomo di idrogeno.

### Testi

Dispense disponibili sul sito del corso J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli

### Bibliografia di riferimento

R.P. Feynman et al. - La Fisica di Feynman, Volume III - Masson L. Landau e E. Lifschitz - Meccanica Quantistica - Editori Riuniti S. Gasiorowicz - Quantum Physics - J.Wiley & Sons

### Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni teoriche frontali, svolte dal docente titolare del corso, ed esercitazioni, svolte in parte dal docente titolare e in parte da un altro docente. Sia le lezioni che le esercitazioni vengono svolte in classe e alla lavagna (elettronica o a gesso). Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche.

## Modalità di valutazione

L'esame consiste in una prova scritta, che prevede la risoluzione di uno o più esercizi, e di una prova orale, a cui si accede dopo il superamento della prova scritta. Tutti i compiti scritti di esame e quelli delle prove in itinere degli anni precedenti sono disponibili sul sito del corso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di valutazione degli studenti.

## English

### Prerequisites

No preparatory courses are planned for this course. A knowledge of classical general physics and of the basics of the Hamiltonian formalism is recommended.

### Programme

Quantum mechanics: The crisis of classical physics. Waves and particles. State vectors and operators. Measurements, observables and uncertainty relation. The position operator. Translations and momentum. Time evolution and the Schrödinger equation. One-dimensional problems. Parity. Harmonic oscillator. Symmetries and conservation laws. Time independent perturbation theory. Time dependent perturbation theory. Rotations and angular momentum. Orbital angular momentum. Spin. Angular momentum composition. Identical particles. The hydrogen atom.

### Reference books

Lecture notes available on the course website J.J. Sakurai, Jim Napolitano - Meccanica Quantistica Moderna - Zanichelli An english version of the book is also available: Sakurai J.J., Modern Quantum Mechanics - Addison-Wesley

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410437 - FS430- TEORIA DELLA RELATIVITÀ

**Docente:** FRANCIA DARIO

## Italiano

### Prerequisiti

Relatività Speciale; conoscenze base di teoria dei campi classica

### Programma

§I. Teoria relativistica dei campi Il gruppo di Poincaré. Simmetrie globali e simmetrie locali. Primo e secondo teorema di Noether e leggi di conservazione. I tensori canonici energia-impulso e momento angolare. Improvements. Argomento di Belinfante e tensore energia-impulso simmetrico. Simmetrie locali e grandezze conservate. §II. La gravità come teoria di campo relativistica Particelle e campi in Relatività Speciale. Rappresentazioni irriducibili del gruppo di Poincaré: metodo delle rappresentazioni indotte. Particelle a massa nulla: ISO(D-2) gruppo di stabilità e invarianza di gauge. Ricostruzione della Relatività Generale. Lagrangiana di Fierz-Pauli. Metodo di Nöther e costruzione perturbativa dei vertici. Costruzione di Nöther della lagrangiana di Yang-Mills. Il vertice cubico gravitazionale trasverso e traceless. Principio di Equivalenza di Weinberg dall'invarianza relativistica della matrice S. Spin e segno delle forze statiche. §III. Elementi di geometria differenziale Spazi topologici. Varietà. Diffeomorfismi. Spazi tangenti e vettori. Basi coordinate. Operatori derivativi su varietà. Connessione di Levi-Civita. Torsione. Forme differenziali: definizione, prodotto esterno, derivate interna ed esterna duale di Hodge. Derivata di Lie e formula di Cartan. Teoria di Yang-Mills nel linguaggio delle forme. Tensore di Weyl. Tensori di Riemann e Weyl in varie dimensioni: conteggio delle componenti per irreps di GL(D). Trasformazioni conformi del tensore metrico. Spazi conformemente piatti. Campi scalari accoppiati in modo conforme. §IV. Formulazione di Cartan-Weyl e accoppiamento minimale di fermioni alla gravità Sistemi inerziali locali. Il vielbein. Trasformazioni di Lorentz locali. La connessione di spin. Il postulato del vielbein. Vincolo di torsione e formulazione del secondo ordine. Contorsione. Curvatura di Lorentz. Gravità come teoria di gauge dell'algebra di Poincaré. Connessione sull'algebra di Poincaré. Trasformazioni di Poincaré locali. Torsione e curvatura sull'algebra di Poincaré. Formulazione del primo ordine e azione di Cartan-Weyl. Relazione tra trasformazioni di gauge e diffeomorfismi. Spinori su varietà curve. Materia fermionica minimamente accoppiata. Lagrangiana di Dirac. §V. Spazi massimamente simmetrici Spazi omogenei e isotropi. Caratterizzazione di spazi massimamente simmetrici: costante di curvatura e segnatura. MSS come soluzioni di vuoto delle equazioni di Einstein con costante cosmologica. Costruzione da immersione in spazi pseudolorentziani in dimensione D+1: metrica e coefficienti di Christoffel. §VI. Il buco nero di Schwarzschild Spazi a simmetria sferica. La soluzione di Schwarzschild. Il teorema di Birkhoff. Singolarità, definizioni e criteri: singolarità di curvatura e incompletezza geodetica. Caduta libera verso l'orizzonte. Le coordinate della tartaruga. Estensione di uno spazio-tempo. Coordinate di Eddington-Finkelstein. Orizzonte degli eventi, buchi neri e buchi bianchi. Coordinate di Kruskal-Szekeres. Estensione massimale della soluzione di Schwarzschild. Diagramma di Kruskal e buchi neri eterni. (A)dS-Schwarzschild. §VII. Buchi neri più generali Diagrammi conformi. Orizzonti degli eventi. Buchi neri di Reissner-Nordström e di Kerr. Termodinamica dei buchi neri. §VIII. Energia gravitazionale Grandezze conservate nelle teorie di gauge: l'esempio della teoria di Yang-Mills. Conservazione covariante e conservazione ordinaria. Equazioni di Einstein-Hilbert per metriche asintoticamente piatte. Il tensore energia-impulso gravitazionale. Il superpotenziale. Energia e quantità di moto nella formulazione ADM. Esempio: energia ADM della soluzione di Schwarzschild. Il teorema dell'energia positiva (senza dimostrazione). Background generico con vettori di Killing. Radiazione di quadrupolo. §VIII. Simmetrie asintotiche Nozione generale di gruppo di simmetria asintotica. L'esempio della teoria di Maxwell nello spazio piatto. Formalismo dello spazio delle fasi covariante. Spaziotempo asintoticamente piatto e supertraslazioni di Bondi-van der Burg-Metzner-Sachs. Applicazioni: teoremi soffici ed effetti memoria. Nota: alcuni argomenti possono essere assegnati come problemi, come alternativa all'esame orale

### Testi

-Carroll S, Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison-Wesley 2014/Cambridge University Press, 2019)  
 -Wald R, General Relativity (The University of Chicago Press, 1984) -Weinberg S, Gravitation and Cosmology - principles and applications of the general theory of relativity, (John Wiley & Sons, 1972)

### Bibliografia di riferimento

-Dirac P A M General Theory of Relativity (Princeton University Press, 1996) -Hawking S W and Ellis G F R, (The Large Scale Structure of Space-Time) (Cambridge University Press, 1973). -Freedman D Z and Van Proyen A, (Supergravity) (Cambridge University Press, 2012). -Ortin T (Gravity and Strings) (Cambridge University Press, 2nd ed. 2015)

### Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna

### Modalità di valutazione

Prova orale o svolgimento di problemi assegnati durante il corso.

### English

#### Prerequisites

Special Relativity and some basic knowledge of classical field theory

#### Programme

§I. Relativistic Field Theory The Poincaré Group. Symmetries: global vs local. Noether's first and second theorems and conservation laws. The canonical stress-energy and angular momentum tensors. Improvements. Belinfante's argument and symmetric energy-momentum tensor. Local symmetries and conserved quantities. §II. Gravity as a relativistic field theory Particles and fields in Special Relativity. Irreps of the Poincaré group: Wigner's induced representation method. Massless particles: ISO(D-2) little group and gauge invariance. From relativistic massless spin-2 particles to full GR. Fierz-Pauli quadratic Lagrangian. Nöther method and non-linear completions. Nöther's construction of Yang-Mills Lagrangian. The transverse-traceless gravitational cubic vertex. Weinberg's Equivalence Principle from relativistic invariance of the S matrix. Spin and the sign of static forces. §III. Elements of differential geometry Topological spaces. Manifolds. Diffeomorphisms. Tangent spaces and vectors. Coordinate basis. Derivative operators on manifolds. Levi-Civita connection. Torsion. Differential forms: definition, wedge product, interior and exterior derivatives, Hodge dual. Lie derivative of forms and Cartan's formula. Yang-Mills theory in the language of forms. Weyl tensor. Riemann and Weyl tensors in various dimensions: counting components for irreps of GL(D). Conformal transformations of the metric tensor. Conformally flat spaces. Conformally coupled scalar fields. §IV. The Cartan-Weyl formulation of GR and Fermionic couplings Local inertial frames. The frame field and its relation to the metric field. Local Lorentz transformations. The spin connection. The vielbein postulate. Torsion constraint and second-order formulation. The contorsion tensor. Local Lorentz curvature. Gravity as a gauge theory of the Poincaré algebra. Connection one-forms on the Poincaré algebra. Local Poincaré transformations. Torsion and curvature over the Poincaré algebra. First-order formulation and Cartan-Weyl's action. Relation between gauge transformations and diffeomorphisms. Spinors on curved manifolds. Minimally coupled Fermionic matter. Dirac Lagrangian. §V. Maximally symmetric spaces Homogeneous and isotropic spaces. Characterisation of maximally symmetric spaces: curvature constant and signature. MSS as vacuum solutions to the EH equations with cosmological constant. Construction from embedding in (D+1) pseudo-Lorentzian spaces: metric and Christoffel coefficients. §VI. The Schwarzschild black hole Spherically symmetric spaces. The Schwarzschild solution. Birkhoff's theorem. Singularities, definitions and criteria: curvature singularities and geodesic incompleteness. Free-fall towards the horizon. The tortoise coordinate. Extension of a space-time. Eddington-Finkelstein coordinates. Event horizons, black holes and white holes. Kruskal-Szekeres coordinates. Maximal extension of the Schwarzschild solution. Kruskal's diagram and eternal black holes. (A)dS-Schwarzschild space-time. §VII. More general black holes Conformal diagrams. Event horizons. Reissner-Nordström and Kerr black holes. Black hole thermodynamics. §VII. Gravitational energy Conserved quantities in gauge theories: the example of Yang-Mills theory. Covariant conservation and ordinary conservation. Einstein-Hilbert equations for asymptotically flat metrics. Candidate for gravitational energy-momentum tensor. The superpotential. ADM energy and momentum. Example: ADM energy of the Schwarzschild solution. The positive-energy theorem (without proof). Generic background with Killing vectors. Quadrupole radiation. §VIII. Asymptotic symmetries General notion of asymptotic symmetry group. The example of Maxwell's theory in flat space. Covariant phase space formalism. Asymptotically flat spacetime and Bondi-van der Burg-Metzner-Sachs supertranslations. Applications: soft theorems and memory effects. Note: some topics may be assigned as homework problems, as an alternative to the oral exam

### Reference books

-Carroll S, Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison-Wesley 2014/Cambridge University Press, 2019)  
 -Wald R, General Relativity (The University of Chicago Press, 1984) -Weinberg S, Gravitation and Cosmology - principles and applications of the general theory of relativity, (John Wiley & Sons, 1972)

### Reference bibliography

-Dirac P A M General Theory of Relativity (Princeton University Press, 1996) -Hawking S W and Ellis G F R, (The Large Scale Structure of Space-Time) (Cambridge University Press, 1973). -Freedman D Z and Van Proyen A, (Supergravity) (Cambridge University Press, 2012). -Ortin T (Gravity and Strings) (Cambridge University Press, 2nd ed. 2015)

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410435 - FS440 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI

**Docente:** Branchini Paolo

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

## Programma

Lo scopo del corso è fornire allo studente gli elementi cognitivi generali che sottendono alla realizzazione di sistemi di acquisizione, controllo e monitoraggio degli esperimenti di Fisica Nucleare e Subnucleare. Il corso è articolato sui seguenti argomenti: - Introduzione ai sistemi di DAQ - Parallelismo e Pipelining - Derandomizzazione - DAQ e Trigger - Trasmissione Dati - Front End Electronics - Trigger - Architettura Sistemi di Calcolo - Sistemi Real Time - Real Time Operating Systems - Linguaggio C - Linguaggio HDL rudimenti e simulazione - Protocolli di Rete TCP/IP - Architetture DAQ - Event Building - VME Bus - Run Control - Farming - Archiviazione Dati

## Testi

Dispense preparate dal docente sulla base delle slide presentate a lezione, disponibili sul sito Moodle predisposto dall'Ateneo: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it>

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Le lezioni si svolgono in modalità tradizionale, in aula, spesso con l'ausilio di proiezioni di slides per la gestione dei dati. Solo in caso di perdurare dell'emergenza COVID19 le lezioni saranno svolte in modalità remota attraverso sistemi di videoconferenza e di attività collaborativa. Il Materiale Didattico è disponibile sul server Moodle predisposto dall'Ateneo per Matematica e Fisica: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it> Durante il corso si svolgeranno delle esercitazioni in Laboratorio con la esecuzione di semplici esempi di: - sistemi di lettura e trasferimento dati tramite meccanismi di pipe con processi concorrenti; - Introduzione alla simulazione con linguaggio HDL di strutture di hardware - programmi di simulazione di trigger basati su segnali; - programma di Run Control per attivazione e terminazione di processi; - configurazione e lettura di dati da scheda su bus VME.

## Modalità di valutazione

L'esame prevede unicamente una prova orale in cui si chiede allo studente un primo argomento a piacere e poi si verifica la conoscenza generale dei vari argomenti affrontati a lezione.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

The aim of the course is to provide the student with the general cognitive elements underlying the acquisition, control and monitoring systems of Nuclear and Subnuclear Physics experiments. The course is divided into the following topics: -Introduction to DAQ -Parallelism and Pipelining systems -Derandomization -DAQ and Trigger -Data Transmission -Front End Electronics -Trigger -Architecture Computing Systems -Real Time Systems -Real Time Operating Systems -C Language - VHDL Language -TCP / IP Network Protocols -DAQ Architecture - Event Building -VME Bus -Run Control -Farming -Data Archiving

### Reference books

Lecture notes prepared by the teacher on the basis of the slides presented and available on the Moodle server: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it>

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410434 - FS450 - ELEMENTI DI MECCANICA STATISTICA

**Docente:** RAIMONDI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

### Programma

PROGRAMMA DEL CORSO: i numeri tra parentesi fanno riferimento al capitolo e paragrafo del libro di testo adottato Teoria cinetica. Equazione di Boltzmann. Teorema H. (1, Par.2.1,2.2,2.3,2.4) Distribuzione di Maxwell-Boltzmann. (1, Par. 2.5) Spazio delle fasi e Teorema di Liouville. (1, Par. 3.1,3.2) Ensembles di Gibbs. Ensemble microcanonico. Entropia. (1, Par. 3.3,3.4) Gas perfetto nell'ensemble microcanonico. (1, Par. 3.6) Teorema di equipartizione. (1, Par. 3.5) Ensemble canonico. (1, Par.4.1). Funzione di partizione ed energia libera. Fluttuazioni di energia. (1 Par. 4.4) Ensemble grancanonico. Granpotenziale. Il gas perfetto nell'ensemble grancanonico (1 Par. 4.3). Fluttuazioni del numero di particelle. (1 Par. 4.4) Teoria classica della risposta lineare e teorema di fluttuazione-dissipazione. (1, Par. 8.4). Teoria del moto Browniano di Einstein e Langevin. (Par. 1 par. 11.1,11.2). Teoria del rumore termico di Johnson-Nyquist. (1 Par. 11.3). Meccanica Statistica quantistica e matrice densita'. (1, Par. 6.2,6.3,6.4) Statistiche quantistiche di Fermi-Dirac e Bose-Einstein ( 1, Par. 7.1) Il gas di Fermi. Sviluppo di Sommerfeld. Calore specifico elettronico. (1, Par. 7.2) Il gas di Bose. Condensazione di Bose-Einstein. (1, Par. 7.3) Teoria della radiazione di corpo nero. (1, Par. 7.5) Piattaforma Moodle e-Learning del Dipartimento con materiale supplementare

### Testi

Testo di riferimento: 1) C. Di Castro and R. Raimondi, *Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter*, Cambridge University Press, 2015.

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Il corso presenta lezioni teoriche ed esercitazioni. Durante quest'ultime vengono presentati e svolti, coinvolgendo attivamente gli studenti in aula, problemi proporzionati alla quantità di materiale svolto.

## Modalità di valutazione

La prova scritta consiste nel risolvere problemi a risposta multipla riguardanti la meccanica statistica di sistemi classici e la meccanica statistica di sistemi quantistici. I problemi proposti per l'esame rientrano nella tipologia di quelli svolti durante le esercitazioni del corso. La prova orale consiste in due domande di carattere teorico, una dedicata alla meccanica statistica dei sistemi classici ed una relativa a quella dei sistemi quantistici. Il voto finale combina il voto della prova scritta e di quella orale ed è espresso in trentesimi.

## English

## Prerequisites

## Programme

CONTENTS OF THE LECTURES: the numbers in round brackets refer to the chapter and section of the textbook adopted. Kinetic theory of gases. Boltzmann equation and H theorem. (1, Par.2.1,2.2,2.3,2.4) Maxwell-Boltzmann distribution. (1, Par. 2.5) Phase space and Liouville theorem. (1, Par. 3.1,3.2) Gibbs ensembles. Micro canonical ensemble. Definition of entropy. (1, Par. 3.3,3.4) The ideal gas in the micro canonical ensemble. (1, Par. 3.6) The equipartition theorem. (1, Par. 3.5) The canonical ensemble. (1, Par.4.1). The partition function and the free energy. Fluctuations of energy in the canonical ensemble. (1 Par. 4.4) The grand canonical ensemble. The grand potential. The ideal gas in the grand canonical ensemble. (1 Par. 4.3). Fluctuations of the particle number. (1 Par. 4.4) Classical theory of the linear response and fluctuation-dissipation theorem. (1, Par. 8.4). Einstein and Langevin theories of the Brownian motion. (Par. 1 par. 11.1,11.2). Johnson-Nyquist theory of thermal noise. (1 Par. 11.3). Quantum statistical mechanics and the density matrix. (1, Par. 6.2,6.3,6.4) Fermi-Dirac and Bose-einstein quantum statistics. ( 1, Par. 7.1) The Fermi gas. The Sommerfeld expansion and the electron specific heat. (1, Par. 7.2) The Bose gas. The Bose-Einstein condensation. (1, Par. 7.3) Quantum theory of black-body radiation. (1, Par. 7.5) e-Learning Moodle Platform with Supplementary Material

## Reference books

Suggested textbook: 1) C. Di Castro and R. Raimondi, *Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter*, Cambridge University Press, 2015.

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410566 - FS470 - PRINCIPI DI ASTROFISICA

**Docente:** LA FRANCA FABIO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Argomenti Parte A • Coordinate e Telescopi • Elementi di Spettroscopia • Stelle ed Evoluzione Stellare • Galassie • Nuclei Galattici Attivi  
Programma A - Panoramica generale - Coordinate celesti (1.3) - Telescopi e potere risolutivo (6.1) - Distanza di parallasse (3.1) - Flusso, luminosità, magnitudini apparenti ed assolute, colori (3.2, 3.3, 3.6) - Il corpo nero (3.4, 3.5) - Diagramma di Hertzsprung-Russel (8.2) - Ammassi aperti e globulari: posizione, popolazioni stellari e diagramma HR (13.3) - Nane bianche, Novae e SuperNovae (cenni in 15 e 16) - La classificazione delle galassie (24.1) - La curva di rotazione delle galassie e la materia oscura (25.3) - Il centro della Galassia ed il suo Black Hole (25.4) - Legge di Hubble ed espansione dell'Universo (27.2) - Probabilità di collisione tra stelle e tra galassie (dispense) - Buchi Neri: cenni di Relatività Generale (cenni nel 17) - Nuclei Galattici Attivi (28.1, 28.2, 28.3) Argomenti Parte B • Struttura ed evoluzione stellare • Elementi di Spettroscopia • Distanze ed espansione dell'Universo • Galassie • GRB e onde gravitazionali  
Programma B - Dischi di Accrescimento ed emissione X nei Nuclei Galattici Attivi (28.2) - Stelle di Neutroni e Pulsars (cenni in 16.6, 16.7) - Gamma Ray Bursts (dispense) - Onde Gravitazionali (dispense) - Spettroscopia: eq. di Boltzmann-eccitazione e di Saha-ionizzazione (8.1) - Spettroscopia: misure di velocità, temperatura e densità (8.5) - Eq. di struttura delle stelle, tempo e instabilità di Kelvin-Helmholtz (11.1-4) - Le reazioni nucleari dell'idrogeno (11.3) - Massa di Jeans del collasso gravitazionale, tempo di free-fall e Initial Mass Function (12.2, 12.3) - La Via Lattea (25.1, 25.2) - La metallicità (25.2) - Transito di Venere e misura della distanza Terra-Sole (dispense) - Scala delle distanze (27.1) - Legge di Hubble, espansione dell'Universo (27.2) - Gruppo Locale, Ammassi di Galassie, Struttura su Larga Scala dell'Universo (27.3) - Il Big Bang e la radiazione di fondo (breve cenni in 29.2 e dispense) Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie delle edizioni precedenti sono disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso è stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo).  
Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, *Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica* - Ed. Springer

## Testi

La copia delle dispense lezioni può essere scaricata dal sito web del corso. Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso è stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo. Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

lezioni tradizionali in aula

## Modalità di valutazione

Modalità di esame: presentare oralmente un argomento a piacere e rispondere ad alcune domande sul resto del programma. Le domande tipiche consisteranno nel chiedere di esporre una delle altre tematiche elencate nel programma.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Topics Part A • Coordinates and Telescopes • Elements of Spectroscopy • Stars and Stellar Evolution • Galaxies • Active Galactic Nuclei  
 Program Part A • Overview • Celestial coordinates (1.3) • Telescopes and resolving power (6.1) • Parallax distance (3.1) • Flux, brightness, apparent and absolute magnitudes, colors (3.2, 3.3, 3.6) • The black body (3.4, 3.5) • Hertzsprung-Russel diagram (8.2) • Open and globular clusters: position, stellar populations and HR diagram (13.3) • White dwarfs, Novae and SuperNovae (notes and partly in 15 and 16) • The classification of galaxies (24.1) • The rotation curve of galaxies and dark matter (25.3) • The center of the Galaxy and its Black Hole (25.4) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Probability of collision between stars and galaxies (handouts) • Black Holes: outline of General Relativity (outline 17) • Active Galactic Nuclei (28.1, 28.2, 28.3)  
 Topics Part B • Structure and stellar evolution • Elements of Spectroscopy • Distances and expansion of the Universe • Galaxies • GRB and gravitational waves  
 Program Part B • Accretion disks and X-ray emission in Active Galactic Nuclei (28.2) • Stars of Neutrons and Pulsars (16.6, 16.7) • Gamma Ray Bursts (handouts) • Gravitational Waves (lecture notes) • Spectroscopy: eq. Boltzmann-excitation and Saha-ionization (8.1) • Spectroscopy: speed, temperature and density measurements (handouts) • Eq. of star structure, time and Kelvin-Helmholtz instability (11.1-4) • Nuclear reactions of hydrogen (11.3) • Jeans mass of gravitational collapse, free-fall time and Initial Mass Function (12.2, 12.3) • The Milky Way and the local group (25.1, 25.2) • Metallicity (25.2) • Transit of Venus and measurement of the Earth-Sun distance (handouts) • Distance scale (27.1) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Local Group, Clusters of Galaxies, large scale structure of the Universe (27.3) • The Big Bang and the background radiation (29.2 brief notes and lecture notes)

### Reference books

A copy of the lecture notes can be downloaded from the course website. In brackets, the paragraphs from "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copies available in the library). The discussion in the course has been simplified compared to what is reported in the text. Alternative text in Italian: Attilio Ferrari, Stars, Galaxies, Universe - Fundamentals of Astrophysics - Ed. Springer

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410566 - FS470 - PRINCIPI DI ASTROFISICA

**Docente:** MATT GIORGIO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Argomenti Parte A • Coordinate e Telescopi • Elementi di Spettroscopia • Stelle ed Evoluzione Stellare • Galassie • Nuclei Galattici Attivi  
 Programma A - Panoramica generale - Coordinate celesti (1.3) - Telescopi e potere risolutivo (6.1) - Distanza di parallasse (3.1) - Flusso, luminosità, magnitudini apparenti ed assolute, colori (3.2, 3.3, 3.6) - Il corpo nero (3.4, 3.5) - Diagramma di Hertzsprung-Russel (8.2) - Ammassi aperti e globulari: posizione, popolazioni stellari e diagramma HR (13.3) - Nane bianche, Novae e SuperNovae (cenni in 15 e 16) - La classificazione delle galassie (24.1) - La curva di rotazione delle galassie e la materia oscura (25.3) - Il centro della Galassia ed il suo Black Hole (25.4) - Legge di Hubble ed espansione dell'Universo (27.2) - Probabilità di collisione tra stelle e tra galassie (dispense) - Buchi Neri: cenni di Relatività Generale (cenni nel 17) - Nuclei Galattici Attivi (28.1, 28.2, 28.3)  
 Argomenti Parte B • Struttura ed evoluzione stellare • Elementi di Spettroscopia • Distanze ed espansione dell'Universo • Galassie • GRB e onde gravitazionali  
 Programma B - Dischi di Accrescimento ed emissione X nei Nuclei Galattici Attivi (28.2) - Stelle di Neutroni e Pulsars (cenni in 16.6, 16.7) - Gamma Ray Bursts (dispense) - Onde Gravitazionali (dispense) - Spettroscopia: eq. di Boltzmann-eccitazione e di Saha-ionizzazione (8.1) - Spettroscopia: misure di velocità, temperatura e densità (8.5) - Eq. di struttura delle stelle, tempo e instabilità di Kelvin-Helmholtz (11.1-4) - Le reazioni nucleari dell'idrogeno (11.3) - Massa di Jeans del collasso gravitazionale, tempo di free-fall e Initial Mass Function (12.2, 12.3) - La Via Lattea (25.1, 25.2) - La metallicità (25.2) - Transito di Venere e misura della distanza

Terra-Sole (dispense) - Scala delle distanze (27.1) - Legge di Hubble, espansione dell'Universo (27.2) - Gruppo Locale, Ammassi di Galassie, Struttura su Larga Scala dell'Universo (27.3) - Il Big Bang e la radiazione di fondo (brevi cenni in 29.2 e dispense) Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie delle edizioni precedenti sono disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso è stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo). Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

## Testi

La copia delle dispense lezioni puo# essere scaricata dal sito web del corso. Fra parentesi i paragrafi da "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copie disponibili in biblioteca). La trattazione nel corso e# stata semplificata rispetto a quanto riportato nel testo. Testo alternativo in italiano: Attilio Ferrari, Stelle, Galassie, Universo - Fondamenti di Astrofisica - Ed. Springer

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

lezioni tradizionali in aula

## Modalità di valutazione

Modalita# di esame: presentare oralmente un argomento a piacere e rispondere ad alcune domande sul resto del programma. Le domande tipiche consisteranno nel chiedere di esporre una delle altre tematiche elencate nel programma.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Topics Part A • Coordinates and Telescopes • Elements of Spectroscopy • Stars and Stellar Evolution • Galaxies • Active Galactic Nuclei  
 Program Part A • Overview • Celestial coordinates (1.3) • Telescopes and resolving power (6.1) • Parallax distance (3.1) • Flux, brightness, apparent and absolute magnitudes, colors (3.2, 3.3, 3.6) • The black body (3.4, 3.5) • Hertzsprung-Russel diagram (8.2) • Open and globular clusters: position, stellar populations and HR diagram (13.3) • White dwarfs, Novae and SuperNovae (notes and partly in 15 and 16) • The classification of galaxies (24.1) • The rotation curve of galaxies and dark matter (25.3) • The center of the Galaxy and its Black Hole (25.4) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Probability of collision between stars and galaxies (handouts) • Black Holes: outline of General Relativity (outline 17) • Active Galactic Nuclei (28.1, 28.2, 28.3) Topics Part B • Structure and stellar evolution • Elements of Spectroscopy • Distances and expansion of the Universe • Galaxies • GRB and gravitational waves  
 Program Part B • Accretion disks and X-ray emission in Active Galactic Nuclei (28.2) • Stars of Neutrons and Pulsars (16.6, 16.7) • Gamma Ray Bursts (handouts) • Gravitational Waves (lecture notes) • Spectroscopy: eq. Boltzmann-excitation and Saha-ionization (8.1) • Spectroscopy: speed, temperature and density measurements (handouts) • Eq. of star structure, time and Kelvin-Helmholtz instability (11.1-4) • Nuclear reactions of hydrogen (11.3) • Jeans mass of gravitational collapse, free-fall time and Initial Mass Function (12.2, 12.3) • The Milky Way and the local group (25.1, 25.2) • Metallicity (25.2) • Transit of Venus and measurement of the Earth-Sun distance (handouts) • Distance scale (27.1) • Hubble's law and expansion of the Universe (27.2) • Local Group, Clusters of Galaxies, large scale structure of the Universe (27.3) • The Big Bang and the background radiation (29.2 brief notes and lecture notes)

### Reference books

A copy of the lecture notes can be downloaded from the course website. In brackets, the paragraphs from "An Introduction to Modern Astrophysics, II ed. - B.W. Carrol, D.A. Ostlie - Ed. Pearson, Addison Wesley" (copies available in the library). The discussion in the course has been simplified compared to what is reported in the text. Alternative text in Italian: Attilio Ferrari, Stars, Galaxies, Universe - Fundamentals of Astrophysics - Ed. Springer

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO

**Docente:** FRANCESCHINI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

Non e' obbligatorio ma e' fortemente consigliato essere a proprio agio nella programmazione. Possibilmente Python o Wolfram Mathematica.

### Programma

Presentazione dei problemi che di solito sono formulati come integrali su un grande numero di variabili Elemento di base Probabilità e variabili random Misure, incertezze e loro propagazione Fit di una curva, minimi quadrati, ottimizzazione Integrazione numerica classica, velocità di convergenza Integrazione MC, media e varianza Strategie di campionamento Applicazioni Propagazione delle incertezze Generazione di dati secondo una distribuzione Applicazioni nel mondo reale Sciami di raggi cosmici Disponibilità di un

sistema Ulteriori applicazioni

### Testi

Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - Introduzione all'analisi degli errori : lo studio delle incertezze nelle misure fisiche - Zanichelli Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali (circa 24 ore) ed Esercitazioni di Laboratorio (circa 36 ore). Nel corso delle Esercitazioni di Laboratorio ogni studente avrà a disposizione un Computer. I diversi temi discussi a lezione saranno oggetto delle Esercitazioni di Laboratorio, utilizzando Mathematica, Python o C++.

### Modalità di valutazione

Esame scritto e orale. Scritto: realizzazione di un programma per computer. L'esame scritto consisterà di due parti. La prima parte è volta a verificare la conoscenza specifica dei metodi esposti a lezione. Nella seconda parte si richiederà di applicare tali metodi in un contesto più ampio. Orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte. La preparazione della tesina richiede lo studio in autonomia di alcuni capitoli di un libro.

## English

### Prerequisites

A practice of programming is not strictly mandatory but it is however strongly recommended. Preferably Python or Wolfram Mathematica.

### Programme

Presentation of the problems that can be treated through integrals on large number of dimensions Basics Probability and Random variables Measurement, uncertainty and its propagation Curve-fitting, least-squares, optimization Classical numerical integration, speed of convergence Integration MC (Mean, variance) Sampling Strategies Applications Propagation of uncertainties Generation according to a distribution Real World Applications Cosmic Rays Shower System Availability Further applications

### Reference books

Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - Introduzione all'analisi degli errori : lo studio delle incertezze nelle misure fisiche - Zanichelli Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO

**Docente:** BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA

## Italiano

### Prerequisiti

Non è obbligatorio ma è fortemente consigliato essere a proprio agio nella programmazione.

### Programma

Presentazione dei problemi che di solito sono formulati come integrali su un grande numero di variabili Elemento di base Probabilità e variabili random Misure, incertezze e loro propagazione Fit di una curva, minimi quadrati, ottimizzazione Integrazione numerica classica, velocità di convergenza Integrazione MC, media e varianza Strategie di campionamento Applicazioni Propagazione delle incertezze Note Generazione di dati secondo una distribuzione Applicazioni nel mondo reale Sciami da raggi cosmici Disponibilità di un sistema Ulteriori applicazioni

### Testi

Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - Introduzione all'analisi degli errori : lo studio delle incertezze nelle misure fisiche - Zanichelli Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali (circa 24 ore) ed Esercitazioni di Laboratorio (circa 36 ore). Nel corso delle Esercitazioni di Laboratorio ogni studente avrà a disposizione un Computer. I diversi temi discussi a lezione saranno oggetto delle Esercitazioni di Laboratorio, utilizzando Mathematica, Python o C++.

## Modalità di valutazione

Esame scritto e orale. Scritto: realizzazione di un programma per computer. L'esame scritto consisteva di due parti. La prima parte è volta a verificare la conoscenza specifica dei metodi esposti a lezione, nella seconda parte si richiedeva di applicare tali metodi in un contesto più ampio. Orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte. La preparazione della tesina richiede lo studio in autonomia di alcuni capitoli di un libro.

## English

### Prerequisites

A practice of programming is not strictly mandatory but it is however strongly recommended.

### Programme

Presentation of the problems that can be treated through integrals on large number of dimensions Basics Probability and Random variables Measurement, uncertainty and its propagation Curve-fitting, least-squares, optimization Classical numerical integration, speed of convergence Integration MC (Mean, variance) Sampling Strategies Applications Propagation of uncertainties Generation according to a distribution Real World Applications Cosmic Rays Shower System Availability Further applications

### Reference books

Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410425 - GE460 - TEORIA DEI GRAFI

**Docente:** MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA

## Italiano

### Prerequisites

Algebra linear e Algebra; Geometria (AL110, GE110).

### Programma

Grafi: definizioni basiche. Grafi semplici o no, planarita', connettivita', grado, regolarita', matrici di incidenza e di adiacenza. Esempi di famiglie di grafi. Il "handshaking lemma". Grafi ottenuti a partire da altri: complemento, sottografo, cancellazione e contrazione. Isomorfismi e automorfismi di grafi. Connettivita': cammini, cicli. Un grafo è bipartito se e soltanto se ogni ciclo ha lunghezza pari. Connettivita' e componente connesse. Connettivita' per lati e per vertici. Grafi Euleriani e semi-Euleriani. Teorema di Euler: un grafo connesso è Euleriano se e soltanto se ogni vertice ha grado pari. Grafi Hamiltoniani. Condizioni sufficienti per garantire che un grafo è Hamiltoniano: i teoremi di Ore e di Dirac. Dimostrazione del teorema di Ore. Alberi e foreste. Il numero cicломatico e il "cutset" rank di un grafo. Sistema fondamentale di cicli e di tagli associati a una foresta generante. Enumerazione di foreste generanti. Il teorema di Cayley. Alberi generanti: l'algoritmo "greedy" per il "connector problem". Grafi planari.  $K_{3,3}$  e  $K_5$  non sono planari. Enunciato del teorema di Kuratovski e variazioni. Formula di Euler per grafi planari. Il duale di un grafo planare. Corrispondenza tra cicli e tagli per grafi planari e il loro duale. Duale astratto. Un grafo che ammette un duale astratto è planare. Coloramenti: considerazioni iniziali e alcune proprietà. Coloramenti: il teorema dei 5 colori. Grafi su superfici: classificazione delle superficie topologiche. Coloramenti di facce e dualita' tra questo problema e il coloramento di vertici. Riduzione della dimostrazione del teorema dei 4 colori ai coloramenti di facce di grafi cubici. "The marriage problem": il teorema di Hall. Teorema di Hall nel linguaggio dei trasversali. Criteri di esistenza di trasversali e trasversali parziali. Applicazione alla costruzione di quadrati latini. Grafi diretti: nozione basiche e orientabilita'. Il teorema di Max-Flow Min-Cut e il Teorema di Menger. Complessita' di algoritmi e applicazioni a Teoria dei Grafi. Introduzione alla teoria dei matroidi: definizioni usando basi e elementi indipendenti. Matroidi grafici e cografici, matroidi vettoriali e il problema della rappresentabilita'. Definizione di matroide utilizzando i cicli e la funzione rango. Minori di un matroide. Matroidi trasversali e il Teorema di Rado per i matroidi. Unione di matroidi e applicazioni: esistenza di basi disgiunte in un matroide. Dualita' per matroidi e applicazioni ai matroidi grafici e cografici. Matroidi planari e la generalizzazione del teorema di Kuratovski per matroidi. Elementi di teoria algebrica dei grafi: la matrice di incidenza e la matrice laplaciana di un grafo orientato. Lo spazio dei vertici e lo spazio dei lati di un grafo. Sottospazio dei cicli e sottospazio dei tagli di un grafo orientato definito della matrice di incidenza. Basi per lo spazio dei cicli e per lo spazio dei tagli di un grafo. Il teorema di Riemann-Roch per grafi. Dimostrazione del "Matrix Tree theorem generalizzato". L'algoritmo di contrazione/restrizione per matroidi. Esempi. Il numero di orientazioni acicliche di un grafo. Ancora polinomi per grafi: il polinomio cromatico, il polinomio di "reliability". Esempi. Il polinomio rango (o di Tutte) di un matroide. Proprietà e prime applicazioni. Dimostrazione del teorema di struttura per funzioni sui matroidi che soddisfano proprietà di contrazione/restrizione. La loro scrittura attraverso il polinomio rango. Mosse di Whitey e due isomorfismo per grafi. Isomorfismo tra matroidi grafici implica isomorfismo tra grafi nel caso in cui i grafi siano 3 connessi. Il Teorema di Whitney per matroidi grafici: sketch della dimostrazione. Caratterizzazione per minori esclusi da matroidi binari e regolari. Il teorema di Seymour.

### Testi

R. Diestel: Graph theory, Springer GTM 173. R. Wilson: Introduction to Graph theory, Prentice Hall. B. Bollobas: Modern Graph theory, Springer GTM 184. J. A. Bondy, U.S.R. Murty: Graph theory, Springer GTM 244. N. Biggs: Algebraic graph theory, Cambridge University Press. C. D. Godsil, G. Royle: Algebraic Graph theory, Springer GTM 207. J. G. Oxley: Matroid theory. Oxford graduate texts in mathematics, 3.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

lezioni tradizionali alla lavagna

## Modalità di valutazione

Consegna di esercizi proposti, seminario su tema a scelta e prova scritta finale

## English

### Prerequisites

Basic abstract and linear algebra; basic geometry (AL110, GE110).

### Programme

Graphs: basic definitions. Simple and non simple graphs, planarity, connectivity, degree, regularity, incidence and adjacency matrices. Examples of families of graphs. The "handshaking lemma". Graphs obtained from others: complement, subgraph, cancellation and contraction. Isomorphisms and automorphisms of graphs. Connectivity: paths, cycles. A graph is bipartite if and only if each cycle has equal length. Connectivity and connected component. Connectivity for sides and vertices. Eulerian and semi-Eulerian graphs. Euler's theorem: a connected graph is Eulerian if and only if every vertex has an even degree. Hamiltonian graphs. Sufficient conditions to guarantee that a graph is Hamiltonian: the theorems of Ore and Dirac. the Ore theorem. Trees and forests. The cyclomatic number and the "cutset" rank of a graph. Fundamental system of cycles and cuts associated with a generating forest. Enumeration of generating forests. The Cayley theorem. Generating trees: the "greedy" algorithm for the "connector problem". Planar graphs. K3,3 and K5 are not planar. Statement of the theorem of Kuratovski and variations. Euler's formula for planar graphs. The dual of a planar graph. Correspondence between cycles and cuts for planar graphs and their dual. Dual abstract. A graph that admits a dual abstract is planar. Colorings: initial considerations and some properties. Colorings: the 5 colors theorem. Graphs on surfaces: classification of topological surfaces. Coloring of faces and duality between this problem and the coloring of vertices. Reduction of the proof of the 4-color theorem to the coloring of cubic graph faces. "The marriage problem": Hall's theorem. Hall's theorem in the language of transversals. Criteria of existence of transversal and partial transversivities. Application to the construction of Latin squares. Direct graphs: basic notions and orientability. The Max-Flow Min-Cut theorem and Menger's theorem. Complexity of algorithms and applications to the theory of graphs. Introduction to the theory of matroids: definitions using bases and independent elements. Graphical and cographic matroids, vector matroids and the problem of representability. Definition of matroid using the cycles and the rank function. Minors of a matroid. Transverse matroids and the Rado Theorem for matroids. Union of matroids and applications: existence of disjoint bases in a matroid. Duality for matroids and applications to graphic and cographic matroids. Planar matroids and the generalization of Kuratovski's theorem for matroids. Elements of algebraic graph theory: the incidence matrix and the Laplacian matrix of an oriented graph. The vertex space and the space of edges of a graph. Subspaces of the cycles and subspace of the cuts of a defined oriented graph of the incidence matrix. Basis for the space of the cycles and for the space of the cuts of a graph. The Riemann-Roch theorem for graphs. Proof of the "generalized Matrix Tree theorem". The contraction / restriction algorithm for matroids. Examples. The number of acyclical orientations of a graph. Graph polynomials: the chromatic polynomial, the "reliability" polynomial. Examples. The polynomial rank of a matroid. Properties and first applications. Proof of the structure theorem for functions on matroids that satisfy contraction/restriction properties. Their incarnation through the polynomial rank. Whitey's moves and two isomorphisms for graphs. Isomorphism between graphical matroids implies isomorphism between graphs in case the graphs are 3 connected. Whitney's Theorem for graphic matroids: sketch of the demonstration. Characterization for minors excluded from binary and regular matroids. The theorem of Seymour.

### Reference books

R. Diestel: Graph theory, Spriger GTM 173. R. Wilson: Introduction to Graph theory, Prentice Hall. B. Bollobas: Modern Graph theory, Springer GTM 184. J. A. Bondy, U.S.R. Murty: Graph theory, Springer GTM 244. N. Biggs: Algebraic graph theory, Cambridge University Press. C. D. Godsil, G. Royle: Algebraic Graph theory, Springer GTM 207. J. G. Oxley: Matroid theory. Oxford graduate texts in mathematics, 3.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410560 - IN400 - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON E MATLAB

(MODULO A - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON)

**Docente:** GUARINO STEFANO

## Italiano

### Prerequisiti

Nessuno

### Programma

Il corso tratterà i seguenti aspetti della programmazione in Python: • Introduzione alla programmazione: architetture informatiche; memoria e dati; CPU e programmi; linguaggi di programmazione; problemi, algoritmi e programmi. • Come utilizzare l'interprete Python: richiamare l'interprete; passaggio di argomenti; modalità interattiva; i notebook; piattaforme di codifica online. • Concetti base della programmazione Python: variabili e assegnamenti; espressioni ed istruzioni; operazioni; stampa; commenti; debugging; tipi di dati; numeri e stringhe; input. • Funzioni: funzioni builtin; chiamate di funzione; importazione di moduli e funzioni; funzioni matematiche; composizione di funzioni; definire nuove funzioni; parametri e argomenti; argomenti obbligatori e facoltativi; ordine degli argomenti e assegnazione delle parole chiave; ambito di una variabile. • Prendere decisioni: espressioni booleane e operatori logici; esecuzione

condizionale e alternativa; costruito if-elif-else; condizionali concatenati e annidati. • Iterazioni: riassegnazione e aggiornamento delle variabili; costruito while; istruzione break; sequenze e cicli; l'operatore in; costruito for. • Strutture dati (stringhe, liste, tuple, dizionari): definizione, proprietà, operazioni e metodi; indicizzazione vs assegnazione; mutabilità e immutabilità; map, filter e reduce; referenziazione e aliasing; impacchettamento spacchettamento; ricerca e ricerca inversa; argomenti di lunghezza variabile. • File: persistenza; apertura e chiusura e costruito with; lettura e scrittura; operatore format; nomi di file e percorsi; catturare le eccezioni; pickling. • Moduli e pacchetti: definizione di un modulo; definire un pacchetto; importazione di un pacchetto vs. importazione di un modulo vs. importazione di una funzione; installazione di pacchetti. • Classi e oggetti: classi, tipi, oggetti e istanze; istanze come valori di ritorno; attributi e metodi; mutabilità degli oggetti; l'istanziamento e il metodo \_\_init\_\_; overloading di un operatore e metodi speciali; metodi statici e metodi di classe; ereditarietà. • Pythonic programming: espressioni condizionali; EAFP (Easier to Ask for Forgiveness than Permission); list comprehension; generator expressions; operatori any e all; insiemi. • Programmazione scientifica: Numpy, array e broadcasting; Panda, dataframe e serie; Scikit Learn e introduzione al machine learning con Python; Matplotlib e visualizzazione dati in Python

## Testi

Allen B. Downey, "Pensare in Python" (Edizione 2)", O'Reilly, ISBN-13: 978-8823822641

## Bibliografia di riferimento

Allen B. Downey, "Pensare in Python" (Edizione 2)", O'Reilly, ISBN-13: 978-8823822641

## Modalità erogazione

Tradizionale

## Modalità di valutazione

Ogni settimana, a partire dalla seconda, la lezione del lunedì sarà dedicata ad una sessione di esercizi da consegnare al termine della lezione e che saranno valutati per un massimo di 3.5 punti a sessione, pari a 21 punti totali. Al termine del corso, gli studenti dovranno sostenere un quiz a risposta multipla per un massimo di 10 punti. Una prova orale sarà infine prevista per gli studenti non frequentanti o per coloro che non avranno consegnato gli esercizi in tempo. L'orale sarà invece facoltativo per gli altri studenti.

## English

### Prerequisites

None

### Programme

The course will cover the following aspects of programming in Python: • An introduction to programming: computer architectures; memory and data; CPU and programs; programming languages; problems, algorithms and programs. • How to use the Python interpreter: invoking the interpreter; argument passing; interactive mode; notebooks; online coding platforms. • Basic concepts of Python programming: variables and assignments; expressions and statements; operations; printing; comments; debugging; data types; numbers and strings; input. • Functions: built-in functions; function calls; importing modules and functions; math functions; function composition; defining new functions; parameters and arguments; mandatory vs. optional arguments; arguments' order and keyword assignment; scope of a variable. • Taking decisions: boolean expressions and logical operators; conditional and alternative execution; if-elif-else statements; chained vs. nested conditionals. • Iterations: reassignment and updating variables; the while statement; the break statement; sequences and looping; the in operator; the for loop. • Data structures (strings, lists, tuples, dictionaries): definition, properties, operations and methods; indexing vs. assignment; mutability and immutability; map, filter and reduce; referencing and aliasing; packing and unpacking; lookup and reverse lookup; variable-length arguments. • Files: persistence; opening and closing and the with construct; reading and writing; format operator; filenames and paths; catching exceptions; pickling. • Modules and packages: defining a module; defining a package; importing a package vs. importing a module vs. importing a function; installing packages. • Classes and objects: classes, types, objects and instances; instances as return values; attributes and methods; objects mutability; instantiation and the \_\_init\_\_ method; operator overloading and special methods; static methods and class methods; inheritance. • Pythonic programming: conditional expressions; EAFP (Easier to Ask for Forgiveness than Permission); list comprehension; generator expressions; any and all; sets. • Scientific programming: Numpy, arrays and broadcasting; Pandas, dataframes and series; Scikit-learn and basic machine learning with Python; Matplotlib and plotting in Python

### Reference books

Allen B. Downey, "Think Python: How to Think Like a Computer Scientist (2nd Edition)", O'Reilly, ISBN-13: 978-1491939369

### Reference bibliography

Allen B. Downey, "Think Python: How to Think Like a Computer Scientist (2nd Edition)", O'Reilly, ISBN-13: 978-1491939369

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410560 - IN400 - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON E MATLAB

( MODULO B - PROGRAMMAZIONE IN MATLAB )

**Docente:** Papa Federico

## Italiano

### Prerequisiti

Non sono richiesti particolari prerequisiti.

### Programma

Il desktop Matlab, command window, workspace, current folder, command history, documentazione MATLAB, organizzazione delle finestre, preferenze. Gestione del workspace, caricare/salvare variabili da/su file .mat. Editor di Array, editing manuale di variabili. Editor di Script, comandi basilari per aprire/salvare/modificare file script con estensione .m. Espressioni matematiche, numeri e formati, variabili, formato di display, assegnazione di variabili, funzioni matematiche come operandi, operatori aritmetici, funzioni matematiche come operatori, modificatori d'ordine, funzioni di conversione. Vettori e matrici bidimensionali, assegnazione di matrici e vettori, caricamento di matrici e vettori da file, funzioni per la generazione di matrici (zeros, ones, rand, randn, eye etc.), operatore di concatenazione, trasposizione, lunghezza vettori, dimensioni vettori e matrici, operazioni aritmetiche tra matrici, operazioni elemento a elemento, funzioni di matrici, funzioni elemento per elemento, accesso/modifica/cancellazione di elementi e blocchi di elementi. Matrici utili, norma di vettori e matrici, operatore ":", funzioni aggregate, indicizzazione di matrici e vettori con doppio e singolo indice, indicizzazione vettoriale. Variabili booleane, operatori relazionali, operatori logici, espressioni logiche su scalari, vettori e matrici, indicizzazione logica. Array numerici multidimensionali, caratteri e stringhe, function "char". Cell array, operatore di concatenazione, indicizzazione di cell array, accesso alle celle, accesso al contenuto delle celle, function "cell". Structure, function "struct", indicizzazione delle structure, accesso ai campi delle structure. Polinomi, valutazione polinomi per punti, somma/sottrazione/prodotto/divisione tra polinomi, derivazione di polinomi, radici di polinomi, polinomi date le radici. Numeri complessi, unità immaginaria, costruzione di numeri complessi, rappresentazione cartesiana e polare di numeri complessi. Sequenze numeriche e serie. Oggetti grafici, gerarchia e tipi, handles. Leggere/scrivere proprietà di oggetti, trovare valori di proprietà, copiare/cancellare oggetti. Oggetti "Figure", oggetti "Axes", oggetti "Line". Colori, rappresentazione RGB. Grafici 2D: function "plot" e "subplot", disegno di punti e curve nel piano, disegno di funzioni matematiche, disegno di numeri complessi, disegno di linee multiple tramite matrici, disegno di curve parametriche 2D, function "hystogram", altre function utili per generare specifici grafici 2D. Stili di linea, colori, markers, salvataggio di figure. Grafici 3D: function "plot3", "surf" e "mesh", generazione di griglie cartesiane bidimensionali per grafici 3D da vettori tramite "meshgrid", disegno di curve parametriche 3D. Esempi di grafici 2D e 3D. Programmazione in MATLAB, M-files, script e function, comandi di input/output, istruzioni per il controllo di flusso, istruzioni per i loop, controllo dei loop. Tipi di function, function primarie, function ausiliarie, function innestate, function anonime, handles di functions. Variabili globali, interruzione di script e function, program debugging e commenti. Function di function per la risoluzione di problemi di analisi matematica, grafico di funzioni matematiche, calcolo degli zeri di una funzione scalare, risoluzione di sistemi algebrici non lineari, calcolo di integrali definiti, minimizzazione di funzioni scalari in intervalli, minimizzazione multidimensionale non-lineare non-vincolata, minimizzazione vincolata, risoluzione di problemi differenziali di Cauchy del primo ordine.

## Testi

Slides del corso.

## Bibliografia di riferimento

Documentazione MATLAB.

## Modalità erogazione

Lezione frontale con ausilio di laptop e slides.

## Modalità di valutazione

Lo studente dovrà produrre un progetto in MATLAB su un tema di sua scelta, o scegliendone uno tra quelli proposti a lezione, usando i costrutti MATLAB visti a lezione. Lo studente discuterà oralmente in sede di esame il proprio progetto. Verrà valutata la qualità del progetto prodotto e la conoscenza dei costrutti visti a lezione.

## English

### Prerequisites

There are no prerequisites.

### Programme

MATLAB desktop, command window, workspace, current folder, command history, MATLAB help, windows and preferences. Workspace management, loading/saving variables from/on file. Array Editor, manual editing of variables. Script Editor, basic commands for opening/saving/modifying script files. Mathematical expressions, numbers and format, variables, display format, variable assignment, mathematical functions as operands, arithmetic operators, mathematical functions as operators, ordering modifiers, conversion functions. Vectors and bidimensional matrices, building vectors and matrices, loading vectors and matrices, functions for vector/matrix generation (zeros, ones, rand, randn, eye etc.), concatenation, transposition, vector length, matrix dimension, matrix arithmetical operations, element-by-element operations, matrix functions, element-by-element functions, accessing/changing/deleting entries or blocks of matrices. Norm of vectors and matrices, operator ":", aggregate functions, indexing of vectors and matrices, single/double index, vectorial index. Boolean variables, relational operators, logical operators, logical expressions on scalars, vectors and matrices, logical indexing. Multidimensional numerical arrays, characters and strings, function "char". Cell array, cell array indexing, cell access, access to the cell content, function "cell". Structure, function "struct", structure indexing, access to the structure fields. Polynomials, evaluation of polynomials, sum/difference/product/division of polynomials, polynomial derivation, polynomial roots, polynomials from the roots. Complex numbers, imaginary unit, building complex numbers, Cartesian and polar representation of complex numbers. Numerical sequences and series. Graphical objects, types and hierarchy, handles. Reading/writing object properties, finding property values, copying/deleting objects. "Figure" objects, "Axes" objects, "Line" objects. Colours, RGB representation. 2D graphics: function "plot" and "subplot", drawing points and lines on axes, plotting mathematical functions, plotting complex numbers, drawing multiple lines with matrices, plotting 2D parametric curves, "hystogram" function, other useful functions for 2D plots. Line style, colours, markers, figure saving. 3D graphics: functions "plot3", "surf" and "mesh", bidimensional grid generation with "meshgrid", plotting 3D parametric curves. Examples of 2D and 3D graphics. MATLAB programming, M-files, script and functions, input/output commands, flux control, loops. Types of functions, primary functions, auxiliary functions, nested functions, anonymous functions, function handles. Global variables, script/function interruption, program debugging and comments. Functions of functions for solving mathematical problems: graphs of functions, searching for the zeros of a mathematical function, solution of non-linear algebraic systems, definite integral computation, scalar function minimization, multidimensional non-linear constrained/non-constrained optimization, integration of first order Cauchy problems.

### Reference books

Lesson slides.

### Reference bibliography

MATLAB documentation.

## Study modes

-

## Exam modes

-

# 20410417 - IN410-CALCOLABILITÀ E COMPLESSITÀ

**Docente:** PEDICINI MARCO

## Italiano

### Prerequisiti

Non ci sono prerequisiti.

### Programma

1) Computabilità, complessità e rappresentabilità: - Introduzione ai problemi di decisione, procedure algoritmiche e non algoritmiche, computazioni deterministiche, procedure discrete, nozione di alfabeto, di parola. Decidibilità e semidecidibilità di un insieme. Computazioni deterministiche, finitarie e discrete. Algoritmi formali: definizione formale di algoritmo, configurazioni di input, di output, funzione di transizione. Esempio di formalizzazione di un algoritmo. Decidibilità per automa finito. Rappresentazione degli automi mediante matrici. Monoide libero delle parole. Semianelli formali. Automi Finiti Non-deterministici. Linguaggi Regolari. Equivalenza tra automi deterministici e quelli non-deterministici. - Macchine di Turing: definizione, decidibilità per macchina di Turing, tempo di arresto, spazio di arresto. Costo della computazione. Complessità: caso peggiore e caso medio. Indipendenza del tempo di decisione da un numero finito di configurazioni di input. Funzioni di complessità, classi di complessità DTIME e DSPACE (deterministic time e space). Inclusione  $DTIME(T(n)) \subseteq DSPACE(T(n)) \subseteq DTIME(2^{cT(n)})$ . Pumping Lemma per gli insiemi decidibili in tempo lineare. Simulazione di algoritmi, simulazione della macchina di Turing a seminastro, simulazione di una macchina multinastro. Macchine di Turing speciali. Teorema di Speedup lineare per macchine di Turing con alfabeto esteso. Valutazione del coefficiente di accelerazione in relazione agli alfabeti. Decidibilità di insiemi di numeri naturali. Indipendenza dalla rappresentazione. Considerazioni sulla complessità. - Turing calcolabilità: definizione di funzione Turing calcolabile, funzioni caratteristiche di insiemi Turing decidibili, la classe delle funzioni Turing calcolabili è chiusa per composizione, coppia, ricorsione primitiva e minimizzazione. Esempi di funzioni Turing calcolabili. Funzioni Ricorsive: equivalenza tra Turing computabilità e funzioni ricorsive. Funzione di Ackermann ([1] capp. 1,2,3,4,5 e [4] cap. 1). - Funzioni costruibili in tempo. Nozione di T-orologio. Esempi di alcune funzioni costruibili in tempo. Chiusura per composizione. - Macchine di Turing non-deterministiche: caratterizzazione mediante la decidibilità di insiemi proiezione. Definizione della classe delle funzioni non-deterministiche polinomiali. Problemi NP-completi. 2) Lambda calcolo e programmazione funzionale: - Programmazione dichiarativa: cenni storici sul lambda calcolo, definizioni di base, i termini del lambda calcolo, la sostituzione semplice. Relazioni sui lambda termini. Congruenze, passaggio al contesto. #-equivalenza. L#-equivalenza passa al contesto. Chiusura transitiva di una relazione, proprietà di Church-Rosser. Quozientamento dei lambda-termini rispetto all'alpha equivalenza. - Definizione di beta-redesso e di beta-riduzione. Teorema di Church-Rosser per la beta-riduzione. Forme normali per beta-riduzione. Strategie di beta-riduzione. Strategia normalizzante: riduzione di sinistra (left most-outer most). Riduzione di testa. Termini Risolubili. Forme Normali di Testa. Teorema di caratterizzazione della risolubilità. - Rappresentazione delle funzioni ricorsive: teorema di lambda definibilità. Esistenza del punto fisso per il lambda termini. Punto Fisso di Church ed punto fisso di Curry. - Rappresentazione di altri tipi di dato nel lambda-calcolo: coppie, liste, alberi, soluzione di equazioni ricorsive su lambda-termini ([2] capp. 1, 2, 5).

### Testi

[1] DEHORNOY, P., COMPLEXITÉ ET DECIDABILITÉ. SPRINGER-VERLAG, (1993). [2] KRIVINE, J.-L., LAMBDA CALCULUS: TYPES AND MODELS. #ELLIS HORWOOD, (1993). [3] SIPSER, M., INTRODUCTION TO THE THEORY OF COMPUTATION. THOMSON COURSE TECHNOLOGY, (2006).

### Bibliografia di riferimento

G. Lolli, Hilbert e la logica, Le Matematiche, [S.l.], v. 55, n. 3, p. 93-126, mar. 2005. ISSN 2037-5298. Dexter C. Kozen, Theory of Computation, Springer-Verlag (2006). G. Ausiello, G. Gambosi, F. d'Amore Linguaggi, Modelli, Complessità Aho, Hopcroft, Ullman, Design and Analysis of Computer Programming. A. Bernasconi, B. Codenotti, Introduzione alla complessità computazionale, Springer-Verlag. H. Hermes, Enumerability, Decidability, Computability, Die Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen, n. 127, Springer-Verlag. F. Cardone and J. R. Hindley, History of Lambda-calculus and Combinatory Logic, from Swansea University Mathematics Department Research Report No. MRRS-05-06.

### Modalità erogazione

Lezione frontale in aula.

### Modalità di valutazione

L'esame consiste di due parti: un esame scritto, sostituibile con due prove in itinere (il voto finale viene calcolato pesando la prima prova al 35% e la seconda al 65%) e una prova orale opzionale, prevista per supplire alle insufficienze lievi (a partire dal 15, compreso) o per migliorare il voto ottenuto allo scritto.

## English

### Prerequisites

There is no required background.

### Programme

1) Computability, complexity and representability: - Introduction to decision problems, algorithmic and non-algorithmic procedures, deterministic computations, discrete procedures, the notion of alphabet, of speech. Decidability and semi-decidability of a set. Deterministic, finitary and discrete computations. Formal algorithms: formal definition of algorithm, configurations of input, output, transition function. Example of formalization of an algorithm. Decidability for finished automata. Representation of the automata by

matrices. Free Monoid of words. Formal semi-rings. Non-deterministic finite automata. Regular Languages. Equivalence between deterministic and non-deterministic automata. - Turing machines: definition, decidability for Turing machine, stopping time, stopping space. Cost of computation. Complexity: worst-case and average case. Independence of decision time from a finite number of input configurations. Complexity functions, complexity classes DTIME and DSPACE (deterministic time and space). Inclusion  $DTIME(T(n)) \# DSPACE(T(n)) \# DTIME(2^{\lceil T(n) \rceil})$ . Pumping Lemma. Simulation of algorithms, simulation of the half tape Turing machine, simulation of a multi-tape machine. Special Turing machines. Linear Speedup theorem for Turing machines with an extended alphabet. Evaluation of acceleration coefficient in relation to alphabets. Decisions of natural number sets. Independence from representation. Considerations concerning complexity. - Turing computability: definition of Turing computable function, characteristic functions of Turing decidable sets, the class of Turing computable functions is closed by composition, concatenation, primitive recursion and minimization. Examples of Turing computable functions. Recursive Functions: equivalence between Turing computability and recursive functions. Ackermann function ([1] chapter 1,2,3,4,5 and [4] chapter 1). - Time-constructible functions. The notion of T-clock. Examples of some time constructible function. Closure by composition. - Non-deterministic Turing machines: characterization through the decidability of projection sets. Definition of the class of polynomial non-deterministic functions. NP-complete problems. 2) Lambda calculus and functional programming: - Declarative programming: a historical outline on the lambda calculus, basic definitions, the terms of the lambda calculus, the simple substitution. Relations on the lambda terms. Congruences, transition to the context. #-equivalence. alpha-equivalence passes to the context. The transitive closure of a relationship, owned by Church-Rosser. Listing of lambda-terms concerning alpha-equivalence. - Definition of beta-reduction and beta-equivalence. Church-Rosser's theorem for beta-reduction. Normal forms for beta-reduction. Beta-reduction strategies. Normalizing strategy: left reduction (left most-outer most). Head reduction. Soluble Terms. Head Normal Forms. Solvability characterization theorem. - Representation of the recursive functions: lambda definability theorem. Existence of the fixed point for the lambda terms. Church Fixed Point and Curry fixed point. - Representation of other data types in the lambda-calculus: pairs, lists, trees, the solution of recursive equations on lambda-terms ([2] chapters 1, 2, 5).

### Reference books

[1] DEHORNOY, P., COMPLEXITÉ ET DECIDABILITÉ. SPRINGER-VERLAG, (1993). [2] KRIVINE, J.-L., LAMBDA CALCULUS: TYPES AND MODELS. #ELLIS HORWOOD, (1993). [3] SIPSER, M., INTRODUCTION TO THE THEORY OF COMPUTATION. THOMSON COURSE TECHNOLOGY, (2006).

### Reference bibliography

G. Lolli, Hilbert e la logica, Le Matematiche, [S.I.], v. 55, n. 3, p. 93-126, mar. 2005. ISSN 2037-5298. Dexter C. Kozen, Theory of Computation, Springer-Verlag (2006). G. Ausiello, G. Gambosi, F. d'Amore Linguaggi, Modelli, Complessità Aho, Hopcroft, Ullman, Design and Analysis of Computer Programming. A. Bernasconi, B. Codenotti, Introduzione alla complessità computazionale, Springer-Verlag. H. Hermes, Enumerability, Decidability, Computability, Die Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen, n. 127, Springer-Verlag. F. Cardone and J. R. Hindley, History of Lambda-calculus and Combinatory Logic, from Swansea University Mathematics Department Research Report No. MRRS-05-06.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410626 - IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA

**Docente:** BONIFACI VINCENZO

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza di un linguaggio di programmazione e di strutture dati elementari: liste, code, pile. [IN110 Algoritmi e strutture dati] La conoscenza del linguaggio di programmazione Python è fortemente consigliata. [IN400a Programmazione in Python]

#### Programma

1. Problemi di ottimizzazione e di ottimizzazione combinatoria. Enumerazione delle soluzioni. 2. Fondamenti di analisi degli algoritmi. Trattabilità computazionale. Ordine asintotico di crescita. 3. Grafi. Connettività ed attraversamento. Bipartizioni. Connettività in grafi diretti. Grafi diretti aciclici ed ordinamento topologico. 4. Algoritmi avidi. Schedulazione di intervalli. Caching ottimo. Cammini minimi in un grafo. Albero ricoprente a costo minimo. 5. Divide et impera. Il mergesort. Conteggio di inversioni. Coppia di punti più vicina. 6. Programmazione dinamica. Schedulazione di intervalli pesati. Principi della programmazione dinamica. Somme di sottoinsiemi e problema della bisaccia. Cammini minimi tra tutte le coppie. Cammini minimi e protocollo basato su vettori delle distanze. 7. Flussi di rete. Flusso massimo e algoritmo di Ford-Fulkerson. Flussi massimi e tagli minimi in una rete. Cammini aumentanti. Abbinamenti bipartiti. Cammini disgiunti in grafi diretti e non diretti. 8. Intrattabilità computazionale. Riduzioni tempo-polinomiali. Riduzioni attraverso "gadget". Certificazione efficiente e definizione di NP. Problemi NP-completi. Problemi di copertura, impaccamento, partizionamento, sequenziamento, numerici. Altri esempi.

#### Testi

Jon Kleinberg, Eva Tardos. Algorithm Design. Pearson Education, 2013.

#### Bibliografia di riferimento

Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. Introduzione agli algoritmi e strutture dati. McGraw-Hill, 3a edizione, 2010. Sanjoy Dasgupta, Christos Papadimitriou, Umesh Vazirani. Algorithms. McGraw-Hill, 2016. Bernhard Korte, Jens Vygen. Ottimizzazione combinatoria. Springer, 2011. Michael R. Garey, David S. Johnson. Computers and Intractability. Freeman, 1979.

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali con esercitazioni frontali e di laboratorio (implementazione di algoritmi in Python). Per il diario delle lezioni si consulti il sito del docente: <http://ricerca.mat.uniroma3.it/users/vbonifaci/in440.html> Le lezioni saranno in presenza e verranno anche trasmesse e registrate.

## Modalità di valutazione

La prova orale consiste in un colloquio approfondito alla lavagna su al più 4 distinti argomenti del programma dell'insegnamento.

## English

### Prerequisites

Knowledge of a programming language and of elementary data structures: lists, queues, and stacks. [IN110 Algoritmi e strutture dati]  
Knowledge of the Python programming language is highly suggested. [IN400a Programmazione in Python]

### Programme

1. Optimization and combinatorial optimization problems. Enumeration of solutions. 2. Basics of algorithm analysis. Computational tractability. Asymptotic order of growth. 3. Graphs. Graph connectivity and graph traversal. Graph bipartiteness. Connectivity in directed graphs. Directed acyclic graphs and topological ordering. 4. Greedy algorithms. Interval scheduling. Optimal caching. Shortest paths in a graph. Minimum spanning trees. 5. Divide and conquer. Mergesort. Counting inversions. Closest pair of points. 6. Dynamic programming. Weighted interval scheduling. Principles of dynamic programming. Subset sums and knapsacks. All-pairs shortest paths. Shortest paths and distance vector protocols. 7. Network flow. Maximum flow and the Ford-Fulkerson algorithm. Maximum flows and minimum cuts in a network. Augmenting paths. Bipartite matching. Disjoint paths in directed and undirected graphs. 8. Computational intractability. Polynomial-time reductions. Reductions via "gadgets". Efficient certification and the definition of NP. NP-complete problems. Covering, packing, partitioning, sequencing, and numerical problems. Other examples.

### Reference books

Jon Kleinberg, Eva Tardos. Algorithm Design. Pearson Education, 2013.

### Reference bibliography

Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. Introduction to Algorithms. McGraw-Hill, 3rd edition, 2009.  
Sanjoy Dasgupta, Christos Papadimitriou, Umesh Vazirani. Algorithms. McGraw-Hill, 2016. Bernhard Korte, Jens Vygen. Combinatorial Optimization. Springer, 4th edition, 2008. Michael R. Garey, David S. Johnson. Computers and Intractability. Freeman, 1979.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA

**Docente:** PEDICINI MARCO

## Italiano

### Prerequisiti

Nozioni elementari di teoria dei numeri, probabilità discreta ed algebra lineare, programmazione di base.

### Programma

1. Crittografia Classica - Crittosistemi di base: cifratura per sostituzione, per traslazione, per permutazione, affine, di Vigenère, di Hill. Cifratura a flusso (sincrona e asincrona), Linear feedback shift registers (LFSR) su campi finiti, Cifrario autokey. Cifrari prodotto. Crittoanalisi di base: classificazione degli attacchi; crittoanalisi per i cifrari affini, per la cifratura a sostituzione (analisi delle frequenze), per la cifratura di Vigenere: Kasiski test, indice di coincidenza; crittoanalisi del cifrario di Hill e degli LFSR: attacchi algebrici, cube attack. 2. Applicazione della Teoria di Shannon alla crittografia - Sicurezza dei cifrari: sicurezza computazionale, sicurezza dimostrabile, sicurezza incondizionata. Richiami di calcolo delle probabilità: variabili aleatorie discrete, probabilità congiunta, probabilità condizionata, variabili aleatorie indipendenti, Teorema di Bayes. Variabili aleatorie associate a crittosistemi. Sistemi di cifratura a sicurezza perfetta. Crittosistema di Vernam. Entropia. Codici di Huffman. Spurious Keys e Unicity distance. 3. Cifrari a blocchi - Schemi di cifratura iterativi; Reti di Sostituzione-Permutazione (SPN); Crittoanalisi lineare per SPN: Piling-Up Lemma, approssimazione lineare di S-boxes, attacchi lineari a S-boxes; Crittoanalisi differenziale per SPN; Cifrari di tipo Feistel; DES: descrizione e analisi; AES: descrizione; Cenni sui campi finiti: operazioni su campi finiti, algoritmo di Euclide generalizzato per il calcolo del mcd e degli inversi; Modi operativi per i cifrari a blocchi. 4. Funzioni Hash e Codici per l'autenticazione di messaggi - Funzioni di hash e integrità dei dati. Funzioni di hash sicure: resistenza alla controimmagine, resistenza alla seconda controimmagine, resistenza alla collisione. Il modello dell'oracolo random: funzioni di hash ideali, proprietà di indipendenza. Algoritmi randomizzati, collisione sul problema della seconda controimmagine, collisione sul problema della controimmagine. Funzioni di hash iterate; la costruzione di Merkle-Damgard. Algoritmo di Hash Sicuro (SHA-1). Codici di Autenticazione (MAC): codici di autenticazione nidificati (HMAC).

### Testi

[1] Antoine Joux, Algorithmic Cryptanalysis, (2010) CRC Press. [2] Douglas Stinson, Cryptography: Theory and Practice, 3rd edition, (2006) Chapman and Hall/CRC. [3] Delfs H., Knebl H., Introduction to Cryptography, (2007) Springer Verlag.

### Bibliografia di riferimento

[.] Serge Vaudenay, A Classical Introduction to Cryptography, Applications for Communications Security (2006) Springer-Verlag. [.] Th. Baigneres, P. Junod, Y. Lu, J. Monnerat, S. Vaudenay A Classical Introduction to Cryptography Exercise Book Springer Verlag (2006). [.] S. Mangano, Mathematica Cookbook ISBN: 9789863470106 Publisher: O'Reilly (2014). [.] Schneier, Applied Cryptography (2006) Chapman and Hall/CRC. [.] Katz, Lindell, Introduction to Modern Cryptography (2006) Chapman and Hall/CRC. [.] Rudolf Lidl, Harald Niederreiter, Finite Fields, 2nd edition, In Encyclopedia of Mathematics and its Applications, (2007) Cambridge University Press.

### Modalità erogazione

Lezioni in aula e sessioni di programmazione al laboratorio informatico.

## Modalità di valutazione

Esame scritto e valutazione del progetto di programmazione.

## English

### Prerequisites

Basic number theory, basic discrete probability theory, basic linear algebra, basic computer programming.

### Programme

1. Classic Cryptography - Basic cryptosystems: encryption by substitution, by translation, by permutation, affine cryptosystem, by Vigenère, by Hill. Stream encryption (synchronous and asynchronous), Linear feedback shift registers (LFSR) on finite fields, Autokey cypher. Product cyphers. Basic cryptanalysis: classification of attacks; cryptanalysis for affine cyphers, for substitution cypher (frequency analysis), for Vigenere cypher: Kasiski test, coincidence index; cryptanalysis of Hill's cypher and LFSR: algebraic attacks, cube attack. 2. Application of Shannon theory to cryptography - Security of cyphers: computational security, provable security, unconditional security. Basics of probability: discrete random variables, joint probability, conditional probability, independent random variables, Bayes' theorem. Random variables associated with cryptosystems. Perfect secrecy for encryption systems. Vernam cryptosystem. Entropy. Huffman codes. Spurious Keys and Unicity distance. 3. Block cyphers - iterative encryption schemes; Substitution-Permutation Networks (SPN); Linear cryptanalysis for SPN: Piling-Up Lemma, linear approximation of S-boxes, linear attacks on S-boxes; Differential cryptanalysis for SPN; Feistel cyphers; DES: description and analysis; AES: description; Notes on finite fields: operations on finite fields, Euclid's generalized algorithm for the computation of the GCD and inverse; Operating modes for block cyphers. 4. Hash functions and codes for message authentication - Hash functions and data integrity. Safe hash functions: resistance to the pre-image, resistance to the second pre-image, collision resistance. The random oracle model: ideal hash functions, properties of independence. Randomized algorithms, collision on the problem of the second pre-image, collision on the problem of the pre-image. Iterated hash functions; the construction of Merkle-Damgard. Safe Hash Algorithm (SHA-1). Authentication Codes (MAC): nested authentication codes (HMAC).

### Reference books

[1] Antoine Joux, Algorithmic Cryptanalysis, (2010) CRC Press. [2] Douglas Stinson, Cryptography: Theory and Practice, 3rd edition, (2006) Chapman and Hall/CRC. [3] Delfs H., Knebl H., Introduction to Cryptography, (2007) Springer Verlag.

### Reference bibliography

[-] Serge Vaudenay, A Classical Introduction to Cryptography, Applications for Communications Security (2006) Springer-Verlag. [-] Th. Baigneres, P. Junod, Y. Lu, J. Monnerat, S. Vaudenay A Classical Introduction to Cryptography Exercise Book Springer Verlag (2006). [-] S. Mangano, Mathematica Cookbook ISBN: 9789863470106 Publisher: O'Reilly (2014). [-] Schneier, Applied Cryptography (2006) Chapman and Hall/CRC. [-] Katz, Lindell, Introduction to Modern Cryptography (2006) Chapman and Hall/CRC. [-] Rudolf Lidl, Harald Niederreiter, Finite Fields, 2nd edition, In Encyclopedia of Mathematics and its Applications, (2007) Cambridge University Press.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410426 - IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO

**Docente:** LOMBARDI FLAVIO

## Italiano

### Prerequisiti

Capacità di programmazione in linguaggio C

### Programma

Architetture parallele inclusi sistemi a memoria condivisa, a memoria distribuita e GPGPU Pattern per la programmazione parallela: problemi imbarassingly parallel; work farm; partitioning; reduce; stencil Valutazione delle prestazioni di programmi paralleli: speedup, efficienza, scalabilità Programmazione di architetture a memoria condivisa con OpenMP Programmazione di architetture a memoria distribuita con MPI Programmazione di GPU con CUDA Cenni a Linguaggi di Programmazione innovativi per HPC (OpenACC, Rust + libraries, SIMD, OpenCL, ...)

### Testi

Peter Pacheco, Matthew Malensek, An Introduction to Parallel Programming, 2nd ed., Morgan Kaufmann, 2021, ISBN 9780128046050  
CUDA C++ programming guide Appunti del docente - Slide del corso a cura del docente

### Bibliografia di riferimento

Norm Matloff, Programming on Parallel Machines: GPU, Multicore, Clusters and more,

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

Scritto con domande aperte e chiuse ed un Progetto da concordare con il Docente

## English

### Prerequisites

Programming using the C language

### Programme

Parallel architectures: shared and distributed memory systems; GPGPU Parallel programming Patterns: embarrassingly parallel problems; work farms; partitioning; reduce; stencils Performance evaluation of parallel programs: speedup, efficiency, scalability Programming shared memory architectures with OpenMP Programming distributed memory architectures with MPI Programming GPUs with CUDA Notes on innovative programming languages for HPC (OpenACC, Rust + libraries, SIMD, OpenCL, ...)

### Reference books

Peter Pacheco, Matthew Malensek, An Introduction to Parallel Programming, 2nd ed., Morgan Kaufmann, 2021, ISBN 9780128046050  
CUDA C++ programming guide Course Slides by the Lecturer

### Reference bibliography

Norm Matloff, Programming on Parallel Machines: GPU, Multicore, Clusters and more,

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410427 - IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE

**Docente:** LOMBARDI FLAVIO

### Italiano

#### Prerequisiti

Competenze Informatiche e di Programmazione Base (IN110 Algoritmi e strutture dati)

#### Programma

Il corso di Linguaggi di Programmazione ha come obiettivo quello di presentare i principali concetti della teoria dei linguaggi formali e la loro applicazione alla classificazione dei linguaggi di programmazione. Introdurre le principali tecniche per l'analisi sintattica dei linguaggi di programmazione. Imparare a riconoscere la struttura di un linguaggio di programmazione e le tecniche per implementarne la macchina astratta. Conoscere il paradigma orientato agli oggetti ed altri paradigmi non imperativi.

#### Testi

[1] Maurizio Gabbriellini, Simone Martini, Linguaggi di programmazione - Principi e paradigmi, 2/ed. McGraw-Hill, (2011). [2] Dean Wampler, Alex Payne, Programming Scala: Scalability = Functional Programming + Objects, 2 edizione. O'Reilly Media, (2014). [3] David Parsons, Foundational Java Key Elements and Practical Programming. Springer- Verlag, (2012). Appunti del docente - Slide del corso a cura del docente

#### Bibliografia di riferimento

[4] Kip R Irvine, Assembly Language for X86 Processors. Pearson, (2015). [5] Bruce Tate, Seven Languages in Seven Weeks: A Pragmatic Guide to Learning Programming Languages Pragmatic Bookshelf . (2010). [6] Daniel P. Friedman, Mitchell Wand, Essentials of Programming Languages. MIT Press, (2008).

#### Modalità erogazione

Lo svolgimento prevede lezioni (fortemente consigliate), esercitazioni, seminari, simulazioni e laboratori

#### Modalità di valutazione

La valutazione prevede una prova scritta sugli argomenti del corso (durata 2 ore circa 16 domande) più la implementazione di un progetto software concordato con il docente e della relativa documentazione

### English

#### Prerequisites

Basic Programming and Computer Science Knowledge (IN110 Algorithms and data structures)

#### Programme

The objective of Linguaggi di Programmazione course is to introduce main formal language theory concepts and results as well as their application for programming language classification. Most relevant approaches for syntactic analysis of programming languages are introduced. Learning how to recognize the structure of a programming language and the implementation techniques for the abstract machine. Understanding the Object Oriented paradigm together with other non imperative approaches.

#### Reference books

[1] Maurizio Gabbriellini, Simone Martini, Programming Languages - Principles and paradigms, 2/ed. McGraw-Hill, (2011). [2] Dean Wampler, Alex Payne, Programming Scala: Scalability = Functional Programming + Objects, 2 edizione. O'Reilly Media, (2014). [3] David Parsons, Foundational Java Key Elements and Practical Programming. Springer- Verlag, (2012). Course Slides provided by the lecturer.

#### Reference bibliography

[4] Kip R Irvine, Assembly Language for X86 Processors. Pearson, (2015). [5] Bruce Tate, Seven Languages in Seven Weeks: A Pragmatic Guide to Learning Programming Languages Pragmatic Bookshelf . (2010). [6] Daniel P. Friedman, Mitchell Wand, Essentials of Programming Languages. MIT Press, (2008).

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410877 - IN500 – QUANTUM COMPUTING

**Docente:** PEDICINI MARCO

### Italiano

#### Prerequisiti

Algebra Lineare. Calcolabilità e Complessità.

#### Programma

Elementi di Algebra Lineare: Spazi di Hilbert, Prodotti e prodotti tensore, matrici, spazi complessi e prodotto scalare, grafi, somma dei cammini nel grafo. Funzioni booleane, quantum bits e fattibilità computazionale. Matrici speciali: Hadamard Matrices, Fourier Matrices, Computazioni reversibili e matrici di permutazione, matrici diagonali, riflessioni. Vettori di inizializzazione, controllo e copia di stati di base. Algoritmi: Phil Algorithm, Deutsch's Algorithm, Superdense Coding and Teleportation. The Deutsch-Jozsa Algorithm. Simon's Algorithm. Shor's Algorithm, Quantum Part of the Algorithm, Analysis of the Quantum Part, Continued Fractions. FactoringIntegers: Basic Number Theory, Periods Give the Order, Factoring. Grover's Algorithm: The binary case, the general case, with k Unknowns, Grover Approximate Counting.

#### Testi

Richard J. Lipton, Kenneth W. Regan Introduction to Quantum Algorithms via Linear Algebra, Second Edition, ISBN 9780262045254, (2021), MIT Press

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Corso di Letture.

#### Modalità di valutazione

L'esame consiste nella presentazione di un seminario su un tema da concordare con il docente.

### English

#### Prerequisites

Linear Algebra. Computability and Complexity

#### Programme

Basic Linear Algebra: Hilbert Spaces, Products and Tensor Products, Matrices, Complex Spaces and Inner Products, Matrices, Graphs, and Sums Over Paths. Boolean Functions, Quantum Bits, and Feasibility: Feasible Boolean Functions, Quantum Representation of Boolean Arguments Quantum Feasibility. Special Matrices: Hadamard Matrices, Fourier Matrices, Reversible Computation and Permutation Matrices, Feasible Diagonal Matrices, Reflections. Tricks: Start Vectors, Controlling and Copying Base States, The Copy-Uncompute Trick, Superposition Tricks, Flipping a Switch, Measurement Tricks, Partial Transforms. Algorithms: Phil's Algorithm: Phil Measures Up, Quantum Mazes versus Circuits versus Matrices. Deutsch's Algorithm: Superdense Coding and Teleportation. The Deutsch-Jozsa Algorithm. Simon's Algorithm. Shor's Algorithm, Quantum Part of the Algorithm, Analysis of the Quantum Part, Continued Fractions. FactoringIntegers: Basic Number Theory, Periods Give the Order, Factoring. Grover's Algorithm: The binary case, the general case, with k Unknowns, Grover Approximate Counting.

#### Reference books

Richard J. Lipton, Kenneth W. Regan Introduction to Quantum Algorithms via Linear Algebra, Second Edition, ISBN 9780262045254, (2021), MIT Press

#### Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410432 - IN550 – MACHINE LEARNING

**Docente:** BONIFACI VINCENZO

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza del linguaggio di programmazione Python. [IN400a Programmazione in Python] Elementi di probabilità discreta, algebra

lineare ed analisi matematica.

## Programma

1. Apprendimento automatico. Tipi di apprendimento. Funzioni di costo. Minimizzazione del rischio empirico. Generalizzazione ed overfitting. 2. Ottimizzazione di modelli. Funzioni convesse. Discesa del gradiente. Discesa stocastica del gradiente. 3. Regressione. Regressione lineare. Basi di funzioni. Selezione dei predittori. Regolarizzazione. 4. Classificazione. Modelli generativi. Nearest neighbor. Regressione logistica. Support vector machines. Reti neurali. 5. Combinazione di modelli. Alberi di decisione. Boosting. Bagging. 6. Apprendimento non supervisionato. Clustering K-means. Clustering gerarchico. Analisi delle componenti principali. 7. Applicazione dei metodi nel linguaggio di programmazione Python. Esempi d'uso delle librerie NumPy, Pandas, SciKit-Learn, e TensorFlow.

## Testi

J. Watt, R. Borhani, A. Katsaggelos. Machine Learning Refined. Cambridge University Press, 2nd edition, 2020.

## Bibliografia di riferimento

A. Géron. Hands-On Machine Learning with SciKit-Learn, Keras, and Tensorflow. O'Reilly, 3rd edition, 2022. <br> M. Mohri, A. Rostamizadeh, A. Talwalkar. Foundations of Machine Learning. MIT Press, 2nd edition, 2018. <br> S. Shalev-Shwartz, S. Ben-David. Understanding Machine Learning. Cambridge University Press, 2014. G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani. An Introduction to Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2013. K.P. Murphy. Probabilistic Machine Learning. MIT Press, 2022. T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2008. C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.

## Modalità erogazione

Lezioni teoriche frontali ed esercitazioni di laboratorio nel linguaggio di programmazione Python. Per il diario delle lezioni si consulti il sito del docente: <http://ricerca.mat.uniroma3.it/users/vbonifaci/in550.html> Le lezioni saranno in presenza e verranno anche trasmesse e registrate.

## Modalità di valutazione

L'esame si compone di due parti: un progetto software ed un esame orale. Nella parte di progetto software, gli studenti identificheranno ed analizzeranno un dataset utilizzando le metodologie presentate durante le lezioni, preparando un quaderno Python interattivo (Jupyter) ed una presentazione. L'esame orale consisterà, oltre che nella discussione del progetto, in domande su tutto il programma del corso.

## English

### Prerequisites

Knowledge of the Python programming language. [IN400a Programmazione in Python] Elements of discrete probability, linear algebra and real analysis.

### Programme

1. Machine learning. Types of learning. Loss functions. Empirical risk minimization. Generalization and overfitting. 2. Model optimization. Convex functions. Gradient descent. Stochastic gradient descent. 3. Regression. Linear regression. Basis functions. Feature selection. Regularization. 4. Classification. Generative models. Nearest neighbor. Logistic regression. Support vector machines. Neural networks. 5. Ensemble methods. Decision trees. Boosting. Bagging. 6. Unsupervised learning. K-means clustering. Hierarchical clustering. Principal component analysis. 7. Application of the methods using the Python language. Examples using the NumPy, Pandas, SciKit-Learn, and TensorFlow libraries.

### Reference books

J. Watt, R. Borhani, A. Katsaggelos. Machine Learning Refined. Cambridge University Press, 2nd edition, 2020.

### Reference bibliography

A. Géron. Hands-On Machine Learning with SciKit-Learn, Keras, and Tensorflow. O'Reilly, 3rd edition, 2022. M. Mohri, A. Rostamizadeh, A. Talwalkar. Foundations of Machine Learning. MIT Press, 2nd edition, 2018. S. Shalev-Shwartz, S. Ben-David. Understanding Machine Learning. Cambridge University Press, 2014. G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani. An Introduction to Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2013. K.P. Murphy. Probabilistic Machine Learning. MIT Press, 2022. T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2008. C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410419 - MS410-MECCANICA STATISTICA

**Docente:** GIULIANI ALESSANDRO

## Italiano

### Prerequisiti

I corsi della LT in Matematica. Possono essere utili, anche se non necessari, alcuni elementi di analisi complessa

### Programma

INTRODUZIONE ALLA MECCANICA STATISTICA E STATI DI GIBBS – Gli obiettivi della meccanica statistica – Richiami di

termodinamica. Funzioni convesse e trasformata di Legendre – Modelli di meccanica statistica: ensemble canonico, grancanonico e stati di Gibbs. – Modelli di gas su reticolo e di spin tipo Ising. Esistenza del limite termodinamico per l'energia libera in modelli di spin su reticolo. – La struttura generale degli stati di Gibbs. Stati estremali e miscugli. La nozione di transizione di fase: perdita di analiticità e non unicità dello stato di Gibbs. IL MODELLO DI ISING – Rassegna dei risultati noti sul modello di Ising in una o più dimensioni. – La soluzione del modello di Ising unidimensionale con la matrice di trasferimento. – Il modello di Ising in campo medio: soluzione esatta. Transizione di fase e perdita di equivalenza tra ensemble statistici – Ising con interazioni a lunga portata (potenziali di Kac) nel limite di campo medio. Costruzione di Maxwell. – Disuguaglianze di Griffiths e FKG. Esistenza delle funzioni di correlazione degli stati con condizioni + e # nel modello di Ising ferromagnetico. - La rappresentazione geometrica del modello di Ising: contorni di alta e bassa temperatura. - Esistenza di una transizione di fase nel modello di Ising a bassa temperatura: l'argomento di Peierls. – Assenza di transizione di fase ad alta temperatura e decadimento esponenziale degli effetti di bordo. – Teorema di Lee-Yang e analiticità della pressione a campo magnetico non nullo. – Esistenza di una transizione di fase nel modello di Ising in una dimensione con interazione  $|x - y|^{\#p}$ , 1

## Testi

S. Friedli, Y. Velenik: Statistical Mechanics of Lattice Systems: a Concrete Mathematical Introduction, Cambridge University Press, 2017. G. Gallavotti: Statistical Mechanics. A short treatise, ed. Springer-Verlag, 1999.

## Bibliografia di riferimento

S. Friedli, Y. Velenik: Statistical Mechanics of Lattice Systems: a Concrete Mathematical Introduction, Cambridge University Press, 2017. G. Gallavotti: Statistical Mechanics. A short treatise, ed. Springer-Verlag, 1999.

## Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna

## Modalità di valutazione

Agli studenti è richiesto di risolvere due fogli di esercizi a metà e a fine corso, da consegnare entro l'esame. L'esame consisterà in una tesina orale su una selezione di argomenti del programma concordati con il docente

## English

### Prerequisites

The courses of the Bachelor degree in Mathematics. Some elements of complex analysis may be useful (even though not necessary)

### Programme

INTRODUCTION TO STATISTICAL MECHANICS AND GIBBS STATES – The goals of statistical mechanics – Review of thermodynamics. Convex functions and Legendre transform – Models of statistical mechanics: canonical ensemble, grand canonical and Gibbs states. – The Ising model and the lattice gas models. Existence of the thermodynamic limit for the free energy of the Ising or lattice gas model. – The general structure of Gibbs states. Extremal states and mixtures. The notion of phase transition: loss of analyticity and non-uniqueness of the Gibbs state. THE ISING MODEL – Review of known results on the Ising model in one or more dimensions. – The solution of the one-dimensional Ising model via the transfer matrix method. – The mean field Ising model: exact solution. Phase transition and loss of equivalence between statistical ensembles – Ising with long-range interactions (Kac potentials) in the mean-field limit. The Maxwell construction. – FKG and Griffiths inequalities. Existence of the infinite volume correlation functions of states with + and # conditions in the ferromagnetic Ising model. - The geometric representation of the Ising model: high and low temperature contours. - Existence of a phase transition in the low temperature Ising model: the Peierls's argument. – Absence of a phase transition at high temperature and exponential decay of boundary effects boundary conditions. – Lee-Yang theorem and analyticity of the pressure at non-zero magnetic field. – Existence of a phase transition in the one dimensional Ising model with power law interaction  $|x - y|^{\#p}$ , 1

### Reference books

S. Friedli, Y. Velenik: Statistical Mechanics of Lattice Systems: a Concrete Mathematical Introduction, Cambridge University Press, 2017. G. Gallavotti: Statistical Mechanics. A short treatise, ed. Springer-Verlag, 1999.

### Reference bibliography

S. Friedli, Y. Velenik: Statistical Mechanics of Lattice Systems: a Concrete Mathematical Introduction, Cambridge University Press, 2017. G. Gallavotti: Statistical Mechanics. A short treatise, ed. Springer-Verlag, 1999.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410555 - ST410-STATISTICA

**Docente:** MARTINELLI FABIO

## Italiano

### Prerequisiti

Avere seguito un corso base di teoria della probabilità e di analisi matematica in più variabili

### Programma

Variabili casuali e la loro distribuzione, funzione generatrice dei momenti, media varianza e covarianza. Modello di campionamento casuale e modello statistico. Statistica: concetto, esempi, statistica sufficiente e minimale. Stimatori puntuali: definizione e proprietà desiderata, momenti, massima verosimiglianza e Bayes. Metodi computazionali: Newton-Raphson, algoritmo EM Migliorare uno

stimatore: Rao-Blackwell, stimatore UMVU, statistica completa, Lehman-Scheff #e II e Cramer- Rao Intervalli di confidenza: intuitivo, quantit' a pivotale, IC per Bayes e IC asintotico. Verifica d'ipotesi: rapporto di verosimiglianza, test via quantit' a pivotale (test Z e T), dualit' a con IC, test UMP, Neyman-Pearson e Karlin-Rubin. Metodi non parametrici: goodness-of-fit, tabella di contingenza, Kolmogorov-Smirnov e test tramite graduatoria. Analisi della varianza (ANOVA) e test F. Regressione: lineare, lineare multipla, lineare generalizzata e Logistica/Poisson

### Testi

Introduzione alla Statistica, S.M. Ross, Apogeo - Maggioli Editore. testo aggiuntivo: Luca Leuzzi, Enzo Marinari, Giorgio Parisi  
CALCOLO DELLE PROBABILITÀ: un trattatello per principianti volenterosi

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Le lezioni si terranno in aula con scrittura sulla lavagna o su tablet

### Modalità di valutazione

La valutazione in itinere consiste nel risolvere in circa 10 giorni e per tre volte durante il corso una serie di quesiti di carattere pratico (esercizi) e teorico. Ciascuno foglio riceve un voto da 0 a 10. L'esame finale consiste di 4 esercizi, ciascuno articolato in 2 o 3 quesiti a carattere teorico e pratico. Il voto finale e' il massimo tra il voto dell'esame finale e  $\frac{2}{3} \times (\text{voto esame finale}) + \text{media dei voti dei fogli di esercizi}$

### English

### Prerequisites

A basic course in probability theory and in multivariable calculus

### Programme

Random variables and their distribution, moment generating function, mean variance and covariance. Random sampling model and statistical model. Statistics: concept, examples, sufficient statistics. Point estimators: definition and desired properties, moments, maximum likelihood and Bayes. Computational methods: Newton-Raphson, EM algorithm Improving an estimator: Rao-Blackwell, UMVU estimator, full statistic, Lehman-Scheff #e II and Cramer-Rao Confidence intervals: intuitive, pivotal quantity, IC for Bayes and asymptotic IC. Hypothesis testing: likelihood ratio, pivotal quantity test (Z and T test), duality with IC, UMP, Neyman-Pearson and Karlin-Rubin tests. Non-parametric methods: goodness-of-fit, contingency table, Kolmogorov-Smirnov and ranking tests. Analysis of variance (ANOVA) and F. Regression: linear, multiple linear, generalized linear and Logistic / Poisson

### Reference books

Statistical Inference, Casella e Berger, 2nd Edition, Duxbury Advanced Series. Additional reference: Luca Leuzzi, Enzo Marinari, Giorgio Parisi CALCOLO DELLE PROBABILITÀ: un trattatello per principianti volenterosi

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-