

## DIDATTICA EROGATA 2024/2025

### Matematica (LM-40)

Dipartimento: MATEMATICA E FISICA

Codice CdS: 104652

#### INSEGNAMENTI

##### Primo semestre

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Mutuazioni:**

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

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LELLI CHIESA MARGHERITA	72	Affidamento a titolo gratuito	
LELLI CHIESA MARGHERITA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

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

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410609 AM300 - ANALISI MATEMATICA 5 in Matematica L-35 PROCESI MICHELA	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410609 AM300 - ANALISI MATEMATICA 5 in Matematica L-35 PROCESI MICHELA	72	

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BATTAGLIA LUCA	72	Affidamento a titolo gratuito	
BATTAGLIA LUCA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

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

**20410469 - AM430 - EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE ( - MAT/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
CHIERCHIA LUIGI	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410469 AM430 - EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE in Matematica LM-40 CHIERCHIA LUIGI	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410469 AM430 - EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE in Matematica LM-40 CHIERCHIA LUIGI	60	

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

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

**20410446 - BL410-INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA ( - BIO/13 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410003 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 NESSUNA CANALIZZAZIONE ROSSI MARIANNA NICOLETTA	48	
<b>Fruito da:</b> 20410003 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 NESSUNA CANALIZZAZIONE RUZZIER ENRICO	48	
<b>Fruito da:</b> 20410003 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 NESSUNA CANALIZZAZIONE UDROIU ION	48	
<b>Fruito da:</b> 20410003 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 NESSUNA CANALIZZAZIONE ZOCCHI ALESSANDRO	48	

**20410439 - CH410- ELEMENTI DI CHIMICA ( - CHIM/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20401116 ELEMENTI DI CHIMICA in Fisica L-30 N0 IUCCI GIOVANNA	60	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

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

**20410448 - FS410 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA FISICA ( - FIS/08 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ORESTANO DOMIZIA	30	Carico didattico	
RICCI FEDERICA	30	Carico didattico	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

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

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 CORSI LIVIA	42	
<b>Mutuato da:</b> 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 MARCELLI GIOVANNA	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 CORSI LIVIA	42	
<b>Mutuato da:</b> 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 MARCELLI GIOVANNA	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 CORSI LIVIA	42	
<b>Mutuato da:</b> 20410410 FM310 - ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA in Matematica L-35 MARCELLI GIOVANNA	30	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 FRANZIA DARIO	48	
<b>Fruito da:</b> 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 FRANZIA DARIO	48	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

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

**20410748 - FS490 - EDUCATION & OUTREACH, LA COMUNICAZIONE DELLA SCIENZA ( - FIS/08 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 BERNIERI ENRICO	48	
<b>Fruito da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 DE ANGELIS ILARIA	48	
<b>Fruito da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 GIACOMINI Livia	48	

**20411003 - FS520 – RETI COMPLESSE ( - FIS/03,INF/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20411003 FS520 – RETI COMPLESSE in Scienze Computazionali LM-40 GUARINO STEFANO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20411003 FS520 – RETI COMPLESSE in Scienze Computazionali LM-40 GUARINO STEFANO	60	

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Scienze Computazionali LM-40 FRANCESCHINI ROBERTO	40	
<b>Mutuato da:</b> 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Scienze Computazionali LM-40 BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Scienze Computazionali LM-40 FRANCESCHINI ROBERTO	40	
<b>Mutuato da:</b> 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Scienze Computazionali LM-40 BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	20	

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 PONTECORVO MASSIMILIANO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 Matteucci Michele	12	
<b>Mutuato da:</b> 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 PONTECORVO MASSIMILIANO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410411 GE310 - ISTITUZIONI DI GEOMETRIA SUPERIORE in Matematica L-35 Matteucci Michele	12	

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
CAPORASO LUCIA	72	Affidamento a titolo gratuito	
CAPORASO LUCIA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 CAPORASO LUCIA	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410449 GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1 in Matematica LM-40 CAPORASO LUCIA	72	

**20410465 - GE450 - TOPOLOGIA ALGEBRICA ( - MAT/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Docenti:**

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

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410465 GE450 - TOPOLOGIA ALGEBRICA in Matematica LM-40 MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410465 GE450 - TOPOLOGIA ALGEBRICA in Matematica LM-40 MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	60	

**20410524 - GE520 - GEOMETRIA SUPERIORE ( - MAT/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
VERRA ALESSANDRO	60	Esperto di alta qualificazione (contratto gratuito)	

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410560-1 MODULO A - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON in Scienze Computazionali LM-40 Onofri Elia	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410560-1 MODULO A - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON in Scienze Computazionali LM-40 Onofri Elia	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410560-1 MODULO A - PROGRAMMAZIONE IN PYTHON in Scienze Computazionali LM-40 Onofri Elia	30	

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410560-2 MODULO B - PROGRAMMAZIONE IN MATLAB in Scienze Computazionali LM-40 Papa Federico	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410560-2 MODULO B - PROGRAMMAZIONE IN MATLAB in Scienze Computazionali LM-40 Papa Federico	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410560-2 MODULO B - PROGRAMMAZIONE IN MATLAB in Scienze Computazionali LM-40 Papa Federico	30	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410417 IN410-CALCOLABILITÀ E COMPLESSITÀ in Scienze Computazionali LM-40 PEDICINI MARCO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410417 IN410-CALCOLABILITÀ E COMPLESSITÀ in Scienze Computazionali LM-40 PEDICINI MARCO	72	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410427 IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE in Scienze Computazionali LM-40 LOMBARDI FLAVIO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410427 IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE in Scienze Computazionali LM-40 LOMBARDI FLAVIO	72	

**20411002 - IN510 – QUANTUM COMPUTING MODULO A ( - ING-INF/05 - 3 CFU - 27 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20810323 QUANTUM COMPUTING in Ingegneria informatica LM-32 DI BATTISTA GIUSEPPE	27	
<b>Fruito da:</b> 20810323 QUANTUM COMPUTING in Ingegneria informatica LM-32 DI BATTISTA GIUSEPPE	27	

**20411002 - IN510 – QUANTUM COMPUTING MODULO B ( - INF/01 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20411002_2 IN510 – QUANTUM COMPUTING MODULO B in Scienze Computazionali LM-40 PEDICINI MARCO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20411002_2 IN510 – QUANTUM COMPUTING MODULO B in Scienze Computazionali LM-40 PEDICINI MARCO	30	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410432 IN550 – MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 BONIFACI VINCENZO	60	
Mutuato da: 20410432 IN550 – MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 BONIFACI VINCENZO	60	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MAIELI ROBERTO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410451-1 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO A in Matematica LM-40 MAIELI ROBERTO	48	
Mutuato da: 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:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TORTORA DE FALCO LORENZO	24	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410451-2 LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO B in Matematica LM-40 TORTORA DE FALCO LORENZO	24	
Mutuato da: 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:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TORTORA DE FALCO LORENZO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

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

**20410621 - MC410 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA ( - MAT/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LOPEZ ANGELO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410621 MC410 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 LOPEZ ANGELO	60	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410621 MC410 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 LOPEZ ANGELO	60	

**20410459 - MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA ( - MAT/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FALCOLINI CORRADO	60	Affidamento di incarico retribuito	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410459 MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 FALCOLINI CORRADO	60	
Mutuato da: 20410459 MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 FALCOLINI CORRADO	60	

**20410617 - ME410 - ELEMENTI DI ALGEBRA SUPERIORE ( - MAT/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BARROERO FABRIZIO	60	Carico didattico	

**20410618 - ME420 - FONDAMENTI E STORIA DELLA GEOMETRIA ( - MAT/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BRUNO ANDREA	60	Carico didattico	

**20410620 - ME440 - PROBABILITÀ, STATISTICA E MODELLI ( - MAT/06 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
CANDELLERO ELISABETTA	30	Carico didattico	
SCOPPOLA ELISABETTA	18	Carico didattico	
SCOPPOLA ELISABETTA	6	Affidamento a titolo gratuito	

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

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

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PAPPALARDI FRANCESCO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	60	

## Secondo semestre

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	72	Affidamento a titolo gratuito	
MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410882 AC310 - ANALISI COMPLESSA in Matematica LM-40 MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410882 AC310 - ANALISI COMPLESSA in Matematica LM-40 MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	72	

### 20410746 - AL440 - TEORIA DEI GRUPPI ( - MAT/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TARTARONE FRANCESCA	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410746 AL440 - TEORIA DEI GRUPPI in Matematica LM-40 TARTARONE FRANCESCA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410746 AL440 - TEORIA DEI GRUPPI in Matematica LM-40 TARTARONE FRANCESCA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410746 AL440 - TEORIA DEI GRUPPI in Matematica LM-40 TARTARONE FRANCESCA	60	

### 20410759 - AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI ( -

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

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

### 20410757 - AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI ( -

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ESPOSITO PIERPAOLO	30	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410757_2 AM410 - MODULO B - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI	30	

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

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ESPOSITO PIERPAOLO	30	Carico didattico	

**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	

**20410758 - AM410 - MODULO A - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI ( - MAT/05 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

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

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BESSI UGO	72	Affidamento a titolo gratuito	
BESSI UGO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 BESSI UGO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410637 AM450 - ANALISI FUNZIONALE in Matematica LM-40 BESSI UGO	72	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**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 - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410441 CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI in Scienze Computazionali LM-40 Quattropani Matteo	42	
<b>Mutuato da:</b> 20410441 CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI in Scienze Computazionali LM-40	18	

Dettaglio	Ore	Canale
CAPUTO PIETRO		
<b>Mutuato da:</b> 20410441 CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI in Scienze Computazionali LM-40 Quattropani Matteo	42	
<b>Mutuato da:</b> 20410441 CP420-INTRODUZIONE AI PROCESSI STOCASTICI in Scienze Computazionali LM-40 CAPUTO PIETRO	18	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410428 CR510 – CRITTOSISTEMI ELLITTICI in Scienze Computazionali LM-40 CAPUANO LAURA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410428 CR510 – CRITTOSISTEMI ELLITTICI in Scienze Computazionali LM-40 CAPUANO LAURA	60	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**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	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 GENTILE GUIDO	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 MARCELLI GIOVANNA	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 GENTILE GUIDO	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 MARCELLI GIOVANNA	30	

**20410769 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA – MODULO A ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Teorico

**Mutuazioni:**

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

**20410770 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA – MODULO B ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )**

**Curricula:** Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 GENTILE GUIDO	30	
<b>Fruito da:</b> 20410085 COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B in Fisica L-30 MARCELLI GIOVANNA	30	

**20410693 - FM420 - SISTEMI DINAMICI ( - MAT/07 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
CORSI LIVIA	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410693 FM420 - SISTEMI DINAMICI in Matematica LM-40 CORSI LIVIA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410693 FM420 - SISTEMI DINAMICI in Matematica LM-40 CORSI LIVIA	60	

**20411056 - FM500 - MODELLI NON-LINEARI IN FISICA MATEMATICA ( - MAT/07 - 6 CFU - 10 ore - ITA )**

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PROCESI MICHELA	10	Affidamento a titolo gratuito	

**20410622 - FS400 - INTRODUZIONE ALLA FISICA MODERNA ( - FIS/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Didattica e comunicazione scientifica*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCIA DARIO	60	Carico didattico	

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**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	

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 REUVERS Robin Johannes Petrus	42	
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 REUVERS Robin Johannes Petrus	42	
<b>Mutuato da:</b> 20410875 FM530 - METODI MATEMATICI PER IL MACHINE LEARNING in Scienze Computazionali LM-40 TERESI LUCIANO	30	

**20410461 - FS460 - DIDATTICA DELLA FISICA ( - FIS/08 - 6 CFU - 64 ore - ITA )**

*Curricula: Didattica e comunicazione scientifica*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410502 DIDATTICA DELLA FISICA in Fisica LM-17	64	

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

*Curricula: Modellistico-applicativo - Teorico*

**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	

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	

### 20410628 - FS530 - TEMI DI FILOSOFIA DELLA SCIENZA ( - M-FIL/02 - 6 CFU - 40 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20710177 TEMI DI FILOSOFIA DELLA SCIENZA in Scienze filosofiche LM-78 DORATO MAURO	40	

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410425 GE460 - TEORIA DEI GRAFI in Scienze Computazionali LM-40 SCHAFFLER LUCA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410425 GE460 - TEORIA DEI GRAFI in Scienze Computazionali LM-40 SCHAFFLER LUCA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410425 GE460 - TEORIA DEI GRAFI in Scienze Computazionali LM-40 SCHAFFLER LUCA	60	

### 20410462 - GE510 - GEOMETRIA ALGEBRICA 2 ( - MAT/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TURCHET AMOS	60	Affidamento a titolo gratuito	
TURCHET AMOS	48	Carico didattico	

### 20411007 - GL410 - INTRODUZIONE ALLA GEOLOGIA ( - GEO/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20411005-2 INTRODUZIONE ALLA GEOLOGIA in Scienze per la protezione della natura e la sostenibilita' ambientale L-32 CIFELLI FRANCESCA	60	
<b>Fruito da:</b> 20411005-2 INTRODUZIONE ALLA GEOLOGIA in Scienze per la protezione della natura e la sostenibilita' ambientale L-32 MATTEI MASSIMO	60	

### 20410454 - GL420-ELEMENTI DI GEOLOGIA II ( - GEO/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410328 ELEMENTI DI GEOLOGIA II in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74	48	

### 20410442 - IN420 - TEORIA DELL'INFORMAZIONE ( - INF/01 - 9 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410442 IN420 - TEORIA DELL'INFORMAZIONE in Scienze Computazionali LM-40 BONIFACI VINCENZO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410442 IN420 - TEORIA DELL'INFORMAZIONE in Scienze Computazionali LM-40 BONIFACI VINCENZO	72	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410626 IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA in Scienze Computazionali LM-40 LIVERANI MARCO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410626 IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA in Scienze Computazionali LM-40		
<b>Mutuato da:</b> 20410626 IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA in Scienze Computazionali LM-40 LIVERANI MARCO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410626 IN440 - OTTIMIZZAZIONE COMBINATORIA in Scienze Computazionali LM-40		

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410424 IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA in Scienze Computazionali LM-40 PEDICINI MARCO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410424 IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA in Scienze Computazionali LM-40 PEDICINI MARCO	60	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410568 IN470 - METODI COMPUTAZIONALI PER LA BIOLOGIA in Scienze Computazionali LM-40		
<b>Mutuato da:</b> 20410568 IN470 - METODI COMPUTAZIONALI PER LA BIOLOGIA in Scienze Computazionali LM-40		

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410426 IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO in Scienze Computazionali LM-40 LOMBARDI FLAVIO	72	
<b>Mutuato da:</b> 20410426 IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO in Scienze Computazionali LM-40 LOMBARDI FLAVIO	72	

**20410592 - LM400 - INTRODUZIONE ALLA LOGICA ( - M-FIL/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410592 LM400 - INTRODUZIONE ALLA LOGICA in Matematica L-35 ABRUSCI VITO MICHELE	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410592 LM400 - INTRODUZIONE ALLA LOGICA in Matematica L-35 ABRUSCI VITO MICHELE	60	

**20410455 - LM420 - TEOREMI SULLA LOGICA 2 ( - MAT/01 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20710122 TEOREMI SULLA LOGICA, 2 in Scienze filosofiche LM-78 TORTORA DE FALCO LORENZO	60	
<b>Fruito da:</b> 20710122 TEOREMI SULLA LOGICA, 2 in Scienze filosofiche LM-78 TORTORA DE FALCO LORENZO	60	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**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	

### 20410456 - MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA ( - MAT/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MAGRONE PAOLA	60	Affidamento di incarico retribuito	

### 20410459 - MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA ( - MAT/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FALCOLINI CORRADO	60	Affidamento di incarico retribuito	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410459 MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 FALCOLINI CORRADO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410459 MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 FALCOLINI CORRADO	60	

### 20410617 - ME410 - ELEMENTI DI ALGEBRA SUPERIORE ( - MAT/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BARROERO FABRIZIO	60	Carico didattico	

### 20410619 - ME430 - FONDAMENTI E STORIA DELL'ANALISI MATEMATICA ( - MAT/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MATALONI SILVIA	30	Esperto di alta qualificazione retribuito	
BIASCO LUCA	12	Affidamento a titolo gratuito	
BIASCO LUCA	12	Carico didattico	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**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	

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

**Curricula:** Modellistico-applicativo - Teorico

**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	72	

Dettaglio	Ore	Canale
ALESSANDRO		

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

**Curricula:** Didattica e comunicazione scientifica - Modellistico-applicativo - Teorico

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PAPPALARDI FRANCESCO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410627 TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI in Matematica LM-40 PAPPALARDI FRANCESCO	60	

## INCARICHI DIDATTICI DEL CORSO DI LAUREA

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
BARROERO FABRIZIO	60	Carico didattico	60	20410617 - ME410 - ELEMENTI DI ALGEBRA SUPERIORE
BATTAGLIA LUCA	72	Carico didattico	48	20410876 - AM400-ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE
		Affidamento a titolo gratuito	72	20410876 - AM400-ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE
BESSI UGO	72	Affidamento a titolo gratuito	72	20410637 - AM450 - ANALISI FUNZIONALE
		Carico didattico	48	20410637 - AM450 - ANALISI FUNZIONALE
BIASCO LUCA	30	Carico didattico	12	20410619 - ME430 - FONDAMENTI E STORIA DELL'ANALISI MATEMATICA
		Affidamento a titolo gratuito	12	20410619 - ME430 - FONDAMENTI E STORIA DELL'ANALISI MATEMATICA
BRUNO ANDREA	60	Carico didattico	60	20410618 - ME420 - FONDAMENTI E STORIA DELLA GEOMETRIA
CANDELLERO ELISABETTA	30	Carico didattico	30	20410620 - ME440 - PROBABILITÀ, STATISTICA E MODELLI
CAPORASO LUCIA	72	Affidamento a titolo gratuito	72	20410449 - GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1
		Carico didattico	48	20410449 - GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1
CHIERCHIA LUIGI	60	Carico didattico	60	20410469 - AM430 - EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE
CORSI LIVIA	60	Carico didattico	60	20410693 - FM420 - SISTEMI DINAMICI
ESPOSITO PIERPAOLO	60	Carico didattico	30	20410757 - AM410 - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI
		Carico didattico	30	20410757 - AM410 - INTRODUZIONE ALLE EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI
FALCOLINI CORRADO	60	Affidamento di incarico retribuito	60	20410459 - MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA
FRANCIA DARIO	60	Carico didattico	60	20410622 - FS400 - INTRODUZIONE ALLA FISICA MODERNA
LELLI CHIESA MARGHERITA	72	Affidamento a titolo gratuito	72	20410445 - AL410 - ALGEBRA COMMUTATIVA
		Carico didattico	48	20410445 - AL410 - ALGEBRA COMMUTATIVA
LOPEZ ANGELO	60	Carico didattico	60	20410621 - MC410 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA
MAGRONE PAOLA	60	Affidamento di incarico retribuito	60	20410456 - MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA
MAIELI ROBERTO	48	Carico didattico	48	20410451 - LM410 - TEOREMI SULLA LOGICA 1
MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA	132	Affidamento a titolo gratuito	72	20410882 - AC310 - ANALISI COMPLESSA
		Carico didattico	48	20410882 - AC310 - ANALISI COMPLESSA
		Affidamento a titolo gratuito	72	20410882 - AC310 - ANALISI COMPLESSA
		Carico didattico	48	20410882 - AC310 - ANALISI COMPLESSA
		Carico didattico	60	20410465 - GE450 - TOPOLOGIA ALGEBRICA
MATALONI SILVIA	30	Esperto di alta qualificazione retribuito	30	20410619 - ME430 - FONDAMENTI E STORIA DELL'ANALISI MATEMATICA
ORESTANO DOMIZIA	30	Carico didattico	30	20410448 - FS410 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA FISICA
PAPPALARDI FRANCESCO	60	Carico didattico	60	20410627 - TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI
PROCESI MICHELA	10	Affidamento a titolo gratuito	10	20411056 - FM500 - MODELLI NON-LINEARI IN FISICA MATEMATICA
RICCI FEDERICA	30	Carico didattico	30	20410448 - FS410 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA FISICA
SCOPPOLA ELISABETTA	30	Carico didattico	18	20410620 - ME440 - PROBABILITÀ, STATISTICA E MODELLI
		Affidamento a titolo gratuito	6	20410620 - ME440 - PROBABILITÀ, STATISTICA E MODELLI
TARTARONE FRANCESCA	60	Carico didattico	60	20410746 - AL440 - TEORIA DEI GRUPPI
TORTORA DE FALCO LORENZO	84	Carico didattico	24	20410451 - LM410 - TEOREMI SULLA LOGICA 1
		Carico didattico	60	20410613 - LM430 - LOGICA E FONDAMENTI DELLA MATEMATICA
TURCHET AMOS	60	Carico didattico	48	20410462 - GE510 - GEOMETRIA ALGEBRICA 2
		Affidamento a titolo gratuito	60	20410462 - GE510 - GEOMETRIA ALGEBRICA 2
		Carico didattico	48	20410462 - GE510 - GEOMETRIA ALGEBRICA 2
		Affidamento a titolo gratuito	60	20410462 - GE510 - GEOMETRIA ALGEBRICA 2
VERRA ALESSANDRO	60	Esperto di alta qualificazione (contratto gratuito)	60	20410524 - GE520 - GEOMETRIA SUPERIORE
DOCENTE NON DEFINITO	0			
<b>Totale ore</b>	<b>1522</b>			

## CONTENUTI DIDATTICI

### 20410882 - AC310 - ANALISI COMPLESSA

**Docente:** MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA

#### Italiano

##### Prerequisiti

AM110, AM120

##### Programma

Richiami di numeri complessi: proprietà algebriche e topologiche. Rappresentazione geometrica dei numeri complessi: coordinate polari e l'esponenziale complessa. Funzioni complesse a variabile complessa: continuità e proprietà, differenziabilità e prime proprietà. Funzione olomorfe: proprietà e esempi di funzioni olomorfe e non olomorfe. Equazioni di Cauchy-Riemann. Le parti reali e immaginarie di funzione olomorfe sono armoniche coniugate. Equazioni di Cauchy-Riemann: dimostrazione. Esempi. Successioni e serie complesse. Proprietà. Serie di potenze a valori complessi. Il teorema di Abel e la formula di Hadamard. Dimostrazione del Teorema di Abel. Formula di Taylor per serie di potenze complesse. L'esponenziale e le funzioni trigonometriche come funzioni analitiche. Proprietà basiliche. Periodicità della funzione esponenziale complessa. Il logaritmo complesso: prime considerazioni. L'anello delle serie di potenze formali a coefficienti complessi: proprietà basiliche. Funzioni analitiche: definizione e prime proprietà. Serie di potenze convergenti sono analitiche all'interno della regione di convergenza. Composizione di funzioni analitiche. Teorema della funzione inversa. Inversa per composizione di una serie formale e la sua convergenza. Potenze complesse e proprietà. La serie binomiale e proprietà. Conseguenze del teorema dell'inversa: la forma canonica di una funzione analitica. Proprietà locali di funzione analitiche: teorema della funzione aperta, criterio di invertibilità, principio del massimo modulo locale. Il teorema fondamentale dell'algebra. Curve parametrizzate. Una funzione olomorfa con derivata nulla è costante. Il luogo degli zeri di una funzione analitica non costante è discreto. Accenti a continuazione analitica di funzione definite su aperti connessi. Principio del massimo modulo globale. Integrali in cammini: definizione e prime proprietà. Esempi. Una funzione continua ammette in un aperto connesso ammette una primitiva se e solo se il suo integrale lungo una curva chiusa si annulla. Integrazioni di serie di funzioni uniformemente convergenti. Esempi. Primitiva locale di una funzione olomorfa. Primitiva locale di una funzione olomorfa. Il teorema di Goursat. Integrale di una funzione olomorfa lungo un cammino continuo. La forma omotopica del Teorema di Cauchy. Primitiva globale di una funzione olomorfa in un dominio semplicemente connesso. Applicazioni allo studio del logaritmo. La formula integrale di Cauchy. Formula di Cauchy per lo sviluppo in serie e applicazioni: una funzione olomorfa è analitica; il teorema di Liouville e il teorema fondamentale dell'algebra. Formula integrale per le derivate. Il numero di avvolgimenti di una curva rispetto a un punto. Curve omologhe a 0. La formula globale di Cauchy. Dimostrazione della formula globale di Cauchy. Esempi. Il primo gruppo di omologia di un aperto di  $\mathbb{C}$  con valori negli interi. La formula di Cauchy per l'invarianza omologica. Esempi. Applicazioni del teorema di Cauchy: limite uniforme su compatti di funzione olomorfe e olomorfo. Esempi. Serie di Laurent. Sviluppo di una funzione olomorfa in una corona circolare in serie di Laurent. Singolarità isolate e il campo delle funzione meromorfe. Esempi. Enunciato del teorema di classificazione delle singolarità isolate e del teorema dei residui: versioni locale e globale. Dimostrazione del teorema di classificazione delle singolarità isolate e dimostrazione del teorema dei residui. La derivata logaritmica e il principio dell'argomento. Calcolo dei residui. Classificazione degli aperti connessi di  $\mathbb{C}$ . Il teorema della mappa di Riemann e il teorema di uniformizzazione (senza dimostrazione). La sfera di Riemann come compattificazione del piano complesso. Il gruppo delle trasformazioni lineari della retta proiettiva e le trasformazioni lineari fratte da loro indotte. Il gruppo degli automorfismi del piano complesso. Il lemma di Schwarz e il gruppo degli automorfismi del disco unitario. Elementi di funzioni e funzione analitiche globali. Il logaritmo come funzione analitica globale. La radice  $n$ -esima come funzione analitica globale. Il fascio dei germi di funzioni analitiche e sue proprietà. La superficie di Riemann associata a una funzione analitica globale. Esempi e proprietà di superfici di Riemann. La superficie di Riemann associata ad una funzione algebrica e proprietà. Riassunto e considerazioni sul programma del corso.

##### Testi

L. V. Ahlfors: Complex Analysis, McGraw-Hill. S. Lang: Complex analysis, GTM 103. E. Freitag, R. Busam: Complex Analysis, Springer.

##### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

##### Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna

##### Modalità di valutazione

Esercizi proposti durante il semestre e esame scritto finale. Orale facoltativa

#### English

##### Prerequisites

AM110, AM120

##### Programme

Complex numbers: algebraic and topological properties. Geometric representation of complex numbers: polar coordinates and the complex exponential. Complex functions with complex variables: continuity and properties, differentiability and first properties. Holomorphic functions: properties and examples of holomorphic and non-holomorphic functions. Cauchy-Riemann equations. The real and imaginary parts of holomorphic functions are harmonic conjugated. Equations of Cauchy-Riemann: proof. Examples. Sequences and complex series. Properties. Power series with complex values. Abel's theorem and Hadamard's formula. Proof of Abel's Theorem. Taylor's formula for series of complex powers. The exponential and the trigonometric functions as analytical functions. Basic properties. Periodicity of the complex exponential function. The complex logarithm: first considerations. The ring of formal powers series with complex coefficients: basic properties. Analytical functions: definition and first properties. Series of converging powers are analytical within the convergence region. Composition of analytical functions. Theorem of the inverse function. Inverse by composition of a formal series and its convergence. Complex powers and properties. The binomial series and properties. Consequences of the inverse theorem: the canonical form of an analytic function. Local properties of analytical functions: open function theorem, invertibility criterion, principle

of the maximum local module. The fundamental theorem of algebra. Parameterized curves. A holomorphic function with zero derivative is constant. The locus of the zeros of a non-constant analytical function is discrete. Analytical continuation of functions defined on open connected sets. Principle of the maximum global module. Integrals in paths: definition and first properties. Examples. A continuous function in a connected open admits a primitive if and only if its integral along a closed curve is zero. Integration of uniformly converging series of functions. Examples. Local primitive of a holomorphic function. Local primitive of a holomorphic function. The Goursat theorem. Integral of a holomorphic function along a continuous path. The homotopy form of the Cauchy Theorem. Global primitive of a holomorphic function in a simply connected domain. Applications to the study of the logarithm. The integral formula of Cauchy. Cauchy formula for development in series and applications: a holomorphic and analytical function; the theorem of Liouville and the fundamental theorem of algebra. Integral formula for derivatives. The number of windings of a curve with respect to a point. Curves homologous to 0. The global formula of Cauchy. Proof of the global Cauchy formula. Examples. The first homology group of an open set with values in integers. The Cauchy formula for homological invariance. Examples. Applications of the Cauchy theorem: uniform limit on holomorphic function compact is holomorphic. Examples. Laurent series. Series expansion of a holomorphic function in a circular crown in the Laurent series. Isolated singularities and the field of meromorphic functions. Examples. Statement of the classification theorem of isolated singularities and residual theorem: local and global versions. Proof of the classification theorem of isolated singularities and proof of the residues theorem. The logarithmic derivative and the principle of the argument. Calculation of residues. Classification of the connected open of  $\mathbb{C}$ . The Riemann map theorem and the uniformization theorem (without proof). The Riemann sphere as a compactification of the complex plane. The group of linear transformations of the projective line and the linear transformations produced by them. The group of automorphisms of the complex plane. The lemma of Schwarz and the group of automorphisms of the unitary disc. Elements of global analytical functions and function. The logarithm as a global analytical function. The  $n$ -th root as a global analytical function. The bundle of germs of analytical functions and its properties. The Riemann surface associated with a global analytical function. Examples and properties of Riemann surface. The Riemann surface associated with an algebraic function and properties. Summary and considerations on the course program.

### Reference books

L. V. Ahlfors: Complex Analysis, McGraw-Hill. S. Lang: Complex analysis, GTM 103. E. Freitag, R. Busam: Complex Analysis, Springer.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410445 - AL410 - ALGEBRA COMMUTATIVA

**Docente:** LELLI CHIESA MARGHERITA

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenze fornite nei corsi di Algebra 1 e Algebra 2.

#### Programma

Anelli e ideali, ideali massimali e ideali primi, nilradicale e radicale di Jacobson, spettro di un anello. Moduli, moduli finitamente generati e Lemma di Nakayama, successioni esatte, prodotto tensoriale, restrizione ed estensione degli scalari. Anelli e moduli di frazioni, localizzazione. Decomposizione primaria. Dipendenza integrale e valutazioni. Condizioni sulle catene. Anelli Noetheriani, Teorema della Base di Hilbert, Nullstellensatz. Anelli di valutazione discreta e domini di Dedekind. Cenni di teoria della dimensione.

#### Testi

M. F. Atiyah, I. G. Macdonald, Introduction to Commutative Algebra. Addison-Wesley, 1996. M. Reid, Undergraduate Algebraic Geometry, Cambridge University Press, 1988. D. Eisenbud, Commutative Algebra with a view toward Algebraic Geometry, Springer-Verlag, 1995. A. Gathmann, Commutative Algebra, Lecture notes.

#### Bibliografia di riferimento

Vedi sopra

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali, esercizi proposti.

#### Modalità di valutazione

Esame scritto e seminario

### English

#### Prerequisites

Knowledge acquired in the courses Algebra 1 and Algebra 2.

#### Programme

Rings and ideals, maximal ideals and prime ideals, nilradical and Jacobson radical, the spectrum of a ring. Modules, finitely generated modules and Nakayama's Lemma, exact sequences, tensor product, restriction and extension of scalars. Rings and modules of fractions, localization. Primary decomposition. Integral dependence and valuation. Chain conditions. Noetherian rings, Hilbert's Basis Theorem, Nullstellensatz. Discrete valuation rings and Dedekind domains. Hints of dimension theory.

#### Reference books

M. F. Atiyah, I. G. Macdonald, Introduction to Commutative Algebra. Addison-Wesley, 1996. M. Reid, Undergraduate Algebraic Geometry, Cambridge University Press, 1988. D. Eisenbud, Commutative Algebra with a view toward Algebraic Geometry, Springer-Verlag, 1995. A. Gathmann, Commutative Algebra, Lecture notes.

### Reference bibliography

As above

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410746 - AL440 - TEORIA DEI GRUPPI

**Docente:** TARTARONE FRANCESCA

### Italiano

#### Prerequisiti

AL110 - fondamenti di algebra e teoria dei gruppi di base

#### Programma

Richiami sulle proprietà elementari dei gruppi. Prodotti diretti e semidiretti. Gruppi di permutazioni e semplicità dei gruppi alterni. Azioni di gruppi. Teoremi di Sylow. Gruppi abeliani finitamente generati, gruppi liberi, gruppi nilpotenti e gruppi risolubili. Trattandosi di un corso avanzato si possono anche inserire altri argomenti su richiesta della classe.

#### Testi

A. Machì, Gruppi. Una introduzione a idee e metodi della Teoria dei Gruppi, SPRINGER VERLAG (2007). M. Artin, Algebra, BOLLATI BORINGHIERI (1997).

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

E' previsto lo svolgimento di una prova scritta e di una prova orale durante gli appelli. La prova scritta (comprese le valutazioni in itinere) consiste di 5/6 esercizi pratico/teorici da svolgere in 2,30/3 ore. Si svolgeranno anche due prove in itinere per esonerare lo studente dalla prova scritta. La prova orale consiste in un seminario da concordare con la docente.

### English

#### Prerequisites

Fundamentals of algebra and basic group theory

#### Programme

Recalls on the elementary properties of groups. Direct and semi-direct products. Permutation groups and simplicity of alternate groups. Actions on groups. Sylow's theorems. Finitely generated abelian groups, free groups, nilpotent groups and solvable groups. Since this is an advanced course, other topics can also be included upon request of the class.

#### Reference books

A. Machì, Gruppi. Una introduzione a idee e metodi della Teoria dei Gruppi, SPRINGER VERLAG (2007). M. Artin, Algebra, BOLLATI BORINGHIERI (1997).

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410746 - AL440 - TEORIA DEI GRUPPI

**Docente:** TARTARONE FRANCESCA

### Italiano

#### Prerequisiti

AL110 - fondamenti di algebra e teoria dei gruppi di base

#### Programma

Richiami sulle proprietà elementari dei gruppi. Prodotti diretti e semidiretti. Gruppi di permutazioni e semplicità dei gruppi alterni. Azioni di gruppi. Teoremi di Sylow. Gruppi abeliani finitamente generati, gruppi liberi, gruppi nilpotenti e gruppi risolubili. Trattandosi di un corso avanzato si possono anche inserire altri argomenti su richiesta della classe.

### Testi

A. Machi, Gruppi. Una introduzione a idee e metodi della Teoria dei Gruppi, SPRINGER VERLAG (2007). M. Artin, Algebra, BOLLATI BORINGHIERI (1997).

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

E' previsto lo svolgimento di una prova scritta e di una prova orale durante gli appelli. La prova scritta (comprese le valutazioni in itinere) consiste di 5/6 esercizi pratico/teorici da svolgere in 2,30/3 ore. Si svolgeranno anche due prove in itinere per esonerare lo studente dalla prova scritta. La prova orale consiste in un seminario da concordare con la docente.

### English

#### Prerequisites

Fundamentals of algebra and basic group theory

#### Programme

Recalls on the elementary properties of groups. Direct and semi-direct products. Permutation groups and simplicity of alternate groups. Actions on groups. Sylow's theorems. Finitely generated abelian groups, free groups, nilpotent groups and solvable groups. Since this is an advanced course, other topics can also be included upon request of the class.

#### Reference books

A. Machi, Gruppi. Una introduzione a idee e metodi della Teoria dei Gruppi, SPRINGER VERLAG (2007). M. Artin, Algebra, BOLLATI BORINGHIERI (1997).

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410876 - AM400-ISTITUZIONI DI ANALISI SUPERIORE

**Docente:** BATTAGLIA LUCA

### Italiano

#### Prerequisiti

Calcolo in una e più variabili, Teoria della misura di Lebesgue

#### Programma

Teoria della misura, misure esterne, costruzione di misure di Borel sui reali. Teoria dell'integrazione, teoremi di passaggio al limite, convergenza in media e in misura, integrazione sugli spazi prodotto. Misure di Radon, regolarità, funzionali lineari positivi sulle funzioni continue, Teorema di rappresentazione di Riesz. Misure con segno, teoremi di decomposizione, differenziazione di misure, funzioni a variazione limitata, Teorema fondamentale del calcolo. Spazi  $L_p$ , proprietà di base, spazi duali, teoremi di densità. Cenni di teoria geometrica della misura.

#### Testi

G. Folland - "Real Analysis" - Wiley

#### Bibliografia di riferimento

G. Folland - "Real Analysis" - Wiley

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali.

#### Modalità di valutazione

Esercizi assegnati a casa (tre assegnazioni in totale) e prova orale sul programma del corso.

### English

#### Prerequisites

Calculus in one and more variables, Lebesgue measure theory

## Programme

Measure theory, outer measures, construction of Borel measures. Integration theory, limit theorems, convergence in mean and in measure, integration on product spaces. Radon measures, regularity, positive linear functionals, Riesz representation theorem. Signed measures, decomposition theorems, differentiation, BV functions, fundamental theorem of calculus.  $L^p$  spaces, basic properties, dual spaces, density theorems. Introduction to geometric measure theory

## Reference books

G. Folland - "Real Analysis" - Wiley

## Reference bibliography

G. Folland - "Real Analysis" - Wiley

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410759 - 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

-

## 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  $W^{1,p}(\Omega)$ . Operatori di prolungamento. Disuguaglianze di Sobolev. Lo spazio  $W^{1,p}_0(\Omega)$ . 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  $W^{1,p}(\Omega)$ . Extension operators. Sobolev inequalities. The space  $W^{1,p}_0(\Omega)$ . 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

-

## 20410758 - 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

-

## 20410469 - AM430 - EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE

**Docente:** CHIERCHIA LUIGI

**Italiano**

### Prerequisiti

Corso introduttivo di analisi matematica in una e più variabili. Algebra lineare. (corsi corrispondenti offerti nei corsi di laurea triennale in Matematica all'Università Roma Tre: AM210, AM220, GE110)

### Programma

1. Teoria generale: - Teoremi di esistenza e unicità (Lemmi di Gronwall; teorema di Picard, teorema di Peano). - Intervalli di esistenza e soluzioni massimali. - Dipendenza da dati iniziali e parametri. 2. Analisi qualitativa di alcune semplici classi di EDO. Spazio delle fasi. 3. Sistemi lineari a coefficienti costanti. Esponenziale di matrici e teorema della forma normale di Jordan. 4. Sistemi lineari a coefficienti variabili. Spazi di soluzione. Il wronskiano. 5. Sistemi Hamiltoniani e meccanica celeste (introduzione) 6. Soluzioni periodiche e serie di Fourier. 10. Problemi al contorno per equazioni del secondo ordine.

### Testi

Gerald Teschl: Ordinary Differential Equations and Dynamical Systems , Graduate Studies in Mathematics Volume 140, American Mathematical Society, 2011 Shair Ahmad and Antonio Ambrosetti, Differential Equations. A first course on ODE and a brief introduction to PDE Series: De Gruyter Textbook De Gruyter | 2019 DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110652864>

### Bibliografia di riferimento

[T] Ordinary Differential Equations and Dynamical Systems (Graduate Studies in Mathematics). AMS. by Gerald Teschl (Author). ISBN-13: 978-0821883280 [D] Demidovich, B.P., Esercizi e problemi di Analisi Matematica, Editori Riuniti, 2010

### Modalità erogazione

Lezioni frontali (circa trentasei ore) ed esercitazioni (circa ventiquattro ore). Tutto il materiale del programma verrà spiegato a lezione. Le lezioni/esercitazioni includeranno un dialogo continuo con gli studenti: il feedback da parte degli studenti durante il corso è strumento fondamentale per la buona riuscita del corso stesso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni (di Stato e dell'Università Roma Tre) che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche. In particolare, lezioni a distanza potrebbero essere necessarie.

### Modalità di valutazione

La valutazione è basata su una prova scritta (soluzione esplicita di EDO, analisi qualitativa, etc.) e su una prova orale basata sui contenuti del corso. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni (di Stato e dell'Università Roma Tre) che regolino le modalità della valutazione degli studenti. In particolare, valutazioni a distanza potrebbero essere necessarie ed in tal caso la valutazione sarà di tipo orale preceduta da una prova scritta preliminare parte integrante dell'esame orale.

**English**

### Prerequisites

Introductory course in mathematical analysis in one and more variables. Linear algebra. (Corresponding courses offered in the three-year degree courses in Mathematics at the Roma Tre University: AM210, AM220, GE110)

### Programme

1. General theory: - Existence and uniqueness theorems (Gronwall's lemmas; Picard's theorem, Peano's theorem). - Existence intervals and maximal solutions. - Dependence on initial data and parameters. 2. Qualitative analysis of some simple EDO classes. Phase space. 3. Linear systems with constant coefficients. Exponential of matrices and Jordan's normal form theorem. 4. Linear systems with variable coefficients. Solution spaces. The Wronskian. 6. Periodic solutions and Fourier series. 7. Hamiltonian systems and celestial mechanics (introduction)

### Reference books

Gerald Teschl: Ordinary Differential Equations and Dynamical Systems , Graduate Studies in Mathematics Volume 140, American Mathematical Society, 2011 Shair Ahmad and Antonio Ambrosetti, Differential Equations. A first course on ODE and a brief introduction to PDE Series: De Gruyter Textbook De Gruyter | 2019 DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110652864>

### Reference bibliography

[T] Ordinary Differential Equations and Dynamical Systems (Graduate Studies in Mathematics). AMS. by Gerald Teschl (Author). ISBN-13: 978-0821883280 [D] Demidovich, B.P., Esercizi e problemi di Analisi Matematica, Editori Riuniti, 2010

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410637 - AM450 - ANALISI FUNZIONALE

**Docente:** BESSI UGO

**Italiano**

### Prerequisiti

Un corso di teoria della misura.

### **Programma**

I principali teoremi dell'Analisi Funzionale.

### **Testi**

H. Brezis, Analisi Funzionale.

### **Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

### **Modalità erogazione**

Lezioni.

### **Modalità di valutazione**

Prova scritta e orale.

### **English**

### **Prerequisites**

Lebesgue measure.

### **Programme**

The main theorems of Functional Analysis.

### **Reference books**

H. Brezis, Functional Analysis.

### **Reference bibliography**

-

### **Study modes**

-

### **Exam modes**

-

## **20410446 - BL410-INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA**

**Docente:** ROSSI MARIANNA NICOLETTA

### **Italiano**

### **Prerequisiti**

Nessun prerequisito

### **Programma**

PROGRAMMA modulo Rossi\_ Le rivoluzionarie scoperte dei premi Nobel nella Biologia degli ultimi 70 anni: 1. La doppia elica di DNA-Watson, Crick, Wilkins 2. La regolazione genica-Jacob, Monod, Lwoff 3. Le neurotrofine-Levi Montalcini, Cohen 4. La morte cellulare- Brenner, Sulston, Horvitz 5. L'RNA interference-Fire, Mello 6. I vaccini a RNA-Karikó Weissman

### **Testi**

Nessun testo. Saranno fornite le slide delle lezioni

### **Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

### **Modalità erogazione**

Testi da definire

### **Modalità di valutazione**

La modalità di valutazione sarà esame scritto con domande a risposta multipla.

### **English**

### **Prerequisites**

None

### **Programme**

module Rossi\_ The revolutionary discoveries of Nobel laureates in Biology over the last 70 years: 1. The double helix of DNA-Watson, Crick, Wilkins 2. Gene regulation-Jacob, Monod, Lwoff 3. Neurotrophins-Levi Montalcini, Cohen 4. Cell Death- Brenner, Sulston, Horvitz 5. RNA interference-Fire, Mello 6. RNA vaccines-Karikó Weissman

### **Reference books**

No textbook will be adopted. Slides of the lectures will be provided

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410446 - BL410-INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA

**Docente:** ZOCCHI ALESSANDRO

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessun prerequisito necessario.

#### Programma

vedi scheda del docente titolare del corso

#### Testi

vedi scheda del docente titolare del corso

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

vedi scheda del docente titolare del corso

#### Modalità di valutazione

vedi scheda del docente titolare del corso

### English

#### Prerequisites

No prerequisites necessary.

#### Programme

see the profile of the lecturer in charge of the course

#### Reference books

see the profile of the lecturer in charge of the course

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410439 - CH410- ELEMENTI DI CHIMICA

**Docente:** IUCCI GIOVANNA

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenze di base di matematica: operazioni elementari, potenze e logaritmi, equazioni di primo e secondo grado, notazioni esponenziali, limiti, derivate, integrali e funzioni.

#### Programma

1. Teoria atomica e struttura dell'atomo. Atomi, molecole, moli; peso atomico e peso molecolare. Atomo di Rutherford, atomo di Bohr, teoria quantistica, numeri quantici e livelli energetici; atomi polielettronici, sistema periodico. 2. Legame chimico. Legame ionico. Legame covalente: Legame # e legame #. Molecole poliatomiche. Struttura molecolare. Ibridizzazione e risonanza. Orbitale molecolare. Legame metallico. Forze intermolecolari. 3. Nomenclatura. Ossidi, idrossidi, acidi, sali, ioni. 4. Reazioni Chimiche. Bilanciamento delle reazioni chimiche. 5. Stati di aggregazione. Stato gassoso e leggi dei gas. 6. Termodinamica. Materia, energia, calore. Primo e secondo principio. Entalpia, entropia, energia libera. 7. Stato solido: solidi ionici, molecolari, metallici, covalenti. Conduttori, semiconduttori, isolanti. 8. Liquidi ed amorfi. Cambiamenti di stato e diagrammi di stato. 9. Soluzioni. Concentrazione delle soluzioni. Proprietà colligative. Soluzioni di elettroliti. 10. Cinetica chimica. Velocità delle reazioni chimiche. Costante di velocità. Influenza della temperatura

sulla velocità: equazione di Arrhenius. Catalizzatori. 11. Equilibrio chimico. Costante di equilibrio e costanti di velocità. Costante di equilibrio ed energia libera. Equilibri in fase gassosa ed eterogenea. Principio di Le Chatelier. Equazione di Van't Hoff. 12. Equilibri in soluzione. Equilibri acido base: Acidi e basi, pH, costanti di dissociazione, acidi poliprotici, idrolisi, tamponi; titolazioni acido-base, indicatori. 13. Equilibri di precipitazione: solubilità e prodotto di solubilità, effetto dello ione a comune. 14. Elettrochimica. Pile, potenziali elettrodici, equazione di Nernst. 15. Laboratorio. Titolazioni acido-base e misure di pH. Sugli argomenti svolti verranno effettuate nel corso delle lezioni esercitazioni numeriche. Sono previste due esercitazioni di laboratorio che si svolgeranno nei locali del CeDiC (Via della Vasca Navale 79).

### Testi

M. Schiavello, L. Palmisano "Fondamenti di Chimica". EdiSES P. Giannoccaro, S. Doronzo "Elementi di Stechiometria" EdiSES Tavola periodica Diapositive e dispense online

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali ed esercitazioni numeriche. Le lezioni in aula non verranno registrate. Sono previste due esercitazioni di laboratorio

### Modalità di valutazione

L'esame consiste di una prova scritta a cui segue un esame orale. La prova scritta consiste di 5 esercizi; ad ogni esercizio sono assegnati 6 punti. La prova scritta è valida per due appelli orali; successivamente scade. Sono previste per gli studenti che frequentano due prove scritte in itinere

### English

#### Prerequisites

Inglese Basic knowledge of mathematics: elementary operations, powers and logarithms, first and second degree equations, exponential notations, limits, derivatives, integrals and functions.

#### Programme

1. Atomic theory and structure of the atom. Atoms, molecules, moles; atomic weight and molecular weight. Rutherford model, Bohr model, quantum theory, quantum numbers and energy levels; polyelectronic atoms, periodic system. 2. Chemical bond. Ionic bond. Covalent bond:  $\sigma$  bond and  $\pi$  bond. Polyatomic molecules. Molecular structure. Hybridization and resonance. Molecular orbital. Metallic bond. Intermolecular forces. 3. Nomenclature. Oxides, hydroxides, acids, salts, ions. 4. Chemical reactions. Balancing chemical reactions. 5. States of aggregation. Gaseous state and gas laws. 6. Thermodynamics. Matter, energy, heat. First and second principle. Enthalpy, entropy, free energy. 7. Solid state: ionic, molecular, metallic, covalent solids. Conductors, semiconductors, insulators. 8. Liquid and amorphous. State changes and state diagrams. 9. Solutions. Concentration of solutions. Colligative properties. Electrolyte solutions. 10. Chemical kinetics. Speed of chemical reactions. Speed constant. Influence of temperature on velocity: Arrhenius equation. Catalysts. 11. Chemical equilibrium. Equilibrium constant and speed constants. Constant of equilibrium and free energy. Equilibria in the gas and heterogeneous phase. Le Chatelier's principle. Van't Hoff equation. 12. Equilibrium in solution. Acid-base equilibria: Acids and bases, pH, dissociation constants, polyprotic acids, hydrolysis, buffers; acid-base titrations, indicators. 13. Precipitation equilibria: solubility and solubility product, common ion effect. 14. Electrochemistry. Batteries, electrode potentials, Nernst equation. 15. Laboratory. Acid-base titrations and pH measurements. Numerical exercises will be carried out on the topics covered during the lessons. There will be two laboratory exercises that will take place at CeDiC (Via della Vasca Navale 79).

#### Reference books

Shriver & Atkins' Inorganic Chemistry 7th Edition Periodica Table Slides online

#### Reference bibliography

Slides online

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410439 - CH410- ELEMENTI DI CHIMICA

**Docente:** IUCCI GIOVANNA

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenze di base di matematica: operazioni elementari, potenze e logaritmi, equazioni di primo e secondo grado, notazioni esponenziali, limiti, derivate, integrali e funzioni.

#### Programma

1. Teoria atomica e struttura dell'atomo. Atomi, molecole, moli; peso atomico e peso molecolare. Atomo di Rutherford, atomo di Bohr, teoria quantistica, numeri quantici e livelli energetici; atomi polielettronici, sistema periodico. 2. Legame chimico. Legame ionico. Legame covalente: Legame  $\sigma$  e legame  $\pi$ . Molecole poliatomiche. Struttura molecolare. Ibridizzazione e risonanza. Orbitale molecolare. Legame metallico. Forze intermolecolari. 3. Nomenclatura. Ossidi, idrossidi, acidi, sali, ioni. 4. Reazioni Chimiche. Bilanciamento delle reazioni chimiche. 5. Stati di aggregazione. Stato gassoso e leggi dei gas. 6. Termodinamica. Materia, energia, calore. Primo e secondo principio. Entalpia, entropia, energia libera. 7. Stato solido: solidi ionici, molecolari, metallici, covalenti. Conduttori, semiconduttori, isolanti. 8. Liquidi ed amorfi. Cambiamenti di stato e diagrammi di stato. 9. Soluzioni. Concentrazione delle soluzioni. Proprietà

colligative. Soluzioni di elettroliti. 10. Cinetica chimica. Velocità delle reazioni chimiche. Costante di velocità. Influenza della temperatura sulla velocità: equazione di Arrhenius. Catalizzatori. 11. Equilibrio chimico. Costante di equilibrio e costanti di velocità. Costante di equilibrio ed energia libera. Equilibri in fase gassosa ed eterogenea. Principio di Le Chatelier. Equazione di Van't Hoff. 12. Equilibri in soluzione. Equilibri acido base: Acidi e basi, pH, costanti di dissociazione, acidi poliprotici, idrolisi, tamponi; titolazioni acido-base, indicatori. 13. Equilibri di precipitazione: solubilità e prodotto di solubilità, effetto dello ione a comune. 14. Elettrochimica. Pile, potenziali elettrodi, equazione di Nernst. 15. Laboratorio. Titolazioni acido-base e misure di pH. Sugli argomenti svolti verranno effettuate nel corso delle lezioni esercitazioni numeriche. Sono previste due esercitazioni di laboratorio che si svolgeranno nei locali del CeDiC (Via della Vasca Navale 79).

### Testi

M. Schiavello, L. Palmisano "Fondamenti di Chimica". EdISES P. Giannoccaro, S. Doronzo "Elementi di Stechiometria" EdISES Tavola periodica Diapositive e dispense online

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali ed esercitazioni numeriche. Le lezioni in aula non verranno registrate. Sono previste due esercitazioni di laboratorio

### Modalità di valutazione

L'esame consiste di una prova scritta a cui segue un esame orale. La prova scritta consiste di 5 esercizi; ad ogni esercizio sono assegnati 6 punti. La prova scritta è valida per due appelli orali; successivamente scade. Sono previste per gli studenti che frequentano due prove scritte in itinere

### English

#### Prerequisites

Inglese Basic knowledge of mathematics: elementary operations, powers and logarithms, first and second degree equations, exponential notations, limits, derivatives, integrals and functions.

#### Programme

1. Atomic theory and structure of the atom. Atoms, molecules, moles; atomic weight and molecular weight. Rutherford model, Bohr model, quantum theory, quantum numbers and energy levels; polyelectronic atoms, periodic system. 2. Chemical bond. Ionic bond. Covalent bond:  $\sigma$  bond and  $\pi$  bond. Polyatomic molecules. Molecular structure. Hybridization and resonance. Molecular orbital. Metallic bond. Intermolecular forces. 3. Nomenclature. Oxides, hydroxides, acids, salts, ions. 4. Chemical reactions. Balancing chemical reactions. 5. States of aggregation. Gaseous state and gas laws. 6. Thermodynamics. Matter, energy, heat. First and second principle. Enthalpy, entropy, free energy. 7. Solid state: ionic, molecular, metallic, covalent solids. Conductors, semiconductors, insulators. 8. Liquid and amorphous. State changes and state diagrams. 9. Solutions. Concentration of solutions. Colligative properties. Electrolyte solutions. 10. Chemical kinetics. Speed of chemical reactions. Speed constant. Influence of temperature on velocity: Arrhenius equation. Catalysts. 11. Chemical equilibrium. Equilibrium constant and speed constants. Constant of equilibrium and free energy. Equilibria in the gas and heterogeneous phase. Le Chatelier's principle. Van't Hoff equation. 12. Equilibrium in solution. Acid-base equilibria: Acids and bases, pH, dissociation constants, polyprotic acids, hydrolysis, buffers; acid-base titrations, indicators. 13. Precipitation equilibria: solubility and solubility product, common ion effect. 14. Electrochemistry. Batteries, electrode potentials, Nernst equation. 15. Laboratory. Acid-base titrations and pH measurements. Numerical exercises will be carried out on the topics covered during the lessons. There will be two laboratory exercises that will take place at CeDiC (Via della Vasca Navale 79).

#### Reference books

Shriver & Atkins' Inorganic Chemistry 7th Edition Periodica Table Slides online

#### Reference bibliography

Slides online

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410447 - CP410 - TEORIA DELLA PROBABILITÀ

**Docente:** CANDELLERO ELISABETTA

### Italiano

#### Prerequisiti

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 proprietà. 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 inizia 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

-

## 20410416 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA

( FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - Modulo B )

**Docente:** GENTILE GUIDO

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessun prerequisito.

#### Programma

Alcuni esempi di sistemi dinamici con applicazioni alla fisica: sistemi gradiente, ecosistemi, circuiti elettrici e modelli epidemiologici. Misura microcanonica, moti quasi-periodici e introduzione alla teoria ergodica (sistemi ergodici, mescolanti e caotici).

#### Testi

G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 1. Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni, Springer, Milano, 2021

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

## Modalità di valutazione

L'esame consiste in un colloquio orale, in cui lo studente dovrà discutere gli argomenti trattati a lezione, con riferimento ai testi utilizzati a lezione.

## English

### Prerequisites

No prerequisites are needed.

### Programme

Some examples of dynamical systems with application to the physical world: gradient systems, ecosystems, electric circuits and epidemiologic systems. Microcanonical ensemble, quasi-periodic motions and introduction to ergodic theory (ergodic, mixing and chaotic systems)

### Reference books

G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 1. Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni, Springer, Milano, 2021

### Reference bibliography

-

### 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. Trovata 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. Arnold, 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*, 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

-

## 20410416 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA

( *FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - Modulo B* )

**Docente:** MARCELLI GIOVANNA

### Italiano

#### Prerequisiti

#### Programma

Testi da definire

#### Testi

Testi da definire

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

Testi da definire

### English

#### Prerequisites

#### Programme

-

#### Reference books

-

### 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

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

-

## 20410769 - 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

V.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

-

## 20410770 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA – MODULO B

**Docente:** GENTILE GUIDO

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessun prerequisito.

#### Programma

Alcuni esempi di sistemi dinamici con applicazioni alla fisica: sistemi gradiente, ecosistemi, circuiti elettrici e modelli epidemiologici. Misura microcanonica, moti quasi-periodici e introduzione alla teoria ergodica (sistemi ergodici, mescolanti e caotici).

#### Testi

G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 1. Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni, Springer, Milano, 2021

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

L'esame consiste in un colloquio orale, in cui lo studente dovrà discutere gli argomenti trattati a lezione, con riferimento ai testi utilizzati a lezione.

### English

#### Prerequisites

No prerequisites are needed.

#### Programme

Some examples of dynamical systems with application to the physical world: gradient systems, ecosystems, electric circuits and epidemiologic systems. Microcanonical ensemble, quasi-periodic motions and introduction to ergodi theory (ergodic, mixing and chaotic systems)

#### Reference books

G. Gentile, Introduzione ai sistemi dinamici. 1. Equazioni differenziali ordinarie, analisi qualitativa e alcune applicazioni, Springer, Milano, 2021

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410770 - FM410-COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA – MODULO B

**Docente:** MARCELLI GIOVANNA

### Italiano

#### Prerequisiti

#### Programma

Testi da definire

### Testi

Testi da definire

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

Testi da definire

### English

### Prerequisites

### Programme

-

### Reference books

-

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410693 - FM420 - SISTEMI DINAMICI

**Docente:** CORSI LIVIA

### Italiano

### Prerequisiti

Meccanica analitica (FM210)

### Programma

Geometria симпlettica e formalismo hamiltoniano. Possibili altri argomenti a seconda degli interessi degli studenti iscritti al corso.

### Testi

[Z] Zehnder - "Lectures on dynamical systems".

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Corso di letture

### Modalità di valutazione

L'esame consiste nello svolgimento di esercizi a casa e in un colloquio orale in cui lo studente dovrà discutere gli argomenti trattati a lezione.

### English

### Prerequisites

Analytical mechanics (FM210)

### Programme

Symplectic geometry and Hamiltonian formalism. Other topics, depending on the interests of the audience

### Reference books

[Z] Zehnder - "Lectures on dynamical systems".

### Reference bibliography

-

### Study modes

## Exam modes

### 20410622 - FS400 - INTRODUZIONE ALLA FISICA MODERNA

**Docente:** FRANZIA DARIO

#### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenze basilari di fisica generale e di matematica dalla laurea triennale. Le nozioni necessarie vengono comunque brevemente richiamate durante il corso.

#### Programma

Parte I Invito Fisica fondamentale come teoria del moto. La rivoluzione del XX secolo: Meccanica Quantistica, Relatività Speciale e Generale, Teoria Quantistica dei Campi. La sfida della gravità quantistica. Costanti fondamentali:  $h$ ,  $c$  e  $G$ . Il cubo delle teorie. Introduzione: lo stato della fisica alla fine del XIX secolo Precessione del perielio di Mercurio. La scoperta della radioattività. Michelson e Morley e la velocità della luce. Radiazione di corpo nero. Effetto fotoelettrico. Diffusione Compton. Lunghezza d'onda Compton. De Broglie e le onde della materia. Davisson e Germer e diffrazione elettronica. Indizi negletti: equivalenza di massa inerziale e massa gravitazionale. Azione a distanza. Affinità tra forza gravitostatica e forza elettrostatica. Intermezzo matematico: Onde. Parte II: Relatività Speciale Sistemi di riferimento e osservatori. Relatività galileiana. Principi di meccanica newtoniana. Trasformazioni galileiane. Equazioni di Maxwell e onde elettromagnetiche. L'ipotesi dell'etere e l'esperimento di Michelson-Morley. Costanza di  $c$  e principi di Relatività Speciale. Diagrammi spazio-temporali. Simultaneità. Boost di Lorentz.  $c$  come velocità massima di ogni segnale. Contrazione delle lunghezze e dilatazione dei tempi. L'esempio dei muoni atmosferici. Invarianza dell'intervallo spazio-temporale. Spazio di Minkowski. Intervalli temporali, nulli e spaziali. Tempo proprio. Struttura causale dello spazio di Minkowski. Composizione delle velocità. Effetti Doppler. Il paradosso dei gemelli. Il paradosso del garage. Dilatazione del tempo e effetti gravitazionali. Isometrie nello spazio di Minkowski: pseudo-ortogonalità e trasformazioni di Lorentz. Quadrivettori: velocità e accelerazione relativistiche. Dinamica relativistica: principio di azione. Energia, quantità di moto e conservazione del quadrimpulso. Relazione di dispersione. Particelle di massa nulla. Forza relativistica. Formulazione covariante dell'elettromagnetismo: tensore di Maxwell ed equazioni inomogenee. La forza di Lorentz. Equazioni di Maxwell omogenee: il potenziale vettore; invarianza di gauge e suo significato. Parte III: Meccanica Quantistica Spin e qubits. Esperimenti di Stern-Gerlach. Stati fisici. Stati di spin: base e normalizzazione. Fasi globali. Notazione di Dirac: bra e ket. Principi della MQ: stati, osservabili, misure, interpretazione probabilistica. Matrici di Pauli e osservabili di spin. Spettro dell'operatore di spin lungo una direzione arbitraria. Evoluzione temporale. Operatore  $U(t, t_0)$ . Unitarietà e suo significato. Equazione di Schrödinger. Hamiltoniano. Evoluzione temporale dei valori medi. Meccanica classica e parentesi di Poisson. Leggi di conservazione. Spin in un campo magnetico. Osservabili compatibili e incompatibili. Il principio di indeterminazione. Sistemi di due qubits. Stati prodotto e stati entangled. Stati di singoletto e tripletto. Osservabili su sistemi composti. Stati puri e stati misti: la matrice densità. Entanglement e matrice di densità. Test dell'entanglement. Onde e particelle. Operatori di posizione e quantità di moto e loro autofunzioni. Cenni sulla quantizzazione canonica. Hamiltoniano delle particelle libere e suo spettro. Formulazione quantistica della seconda legge di Newton. L'oscillatore armonico. Operatori di creazione e annichilazione. Livelli energetici. Regioni classicamente proibite: l'effetto tunnel. Verso la meccanica quantistica relativistica. Intermezzi matematici: Spazi vettoriali complessi. Prodotto scalare. Operatori hermitiani. Prodotti esterni e proiettori. Relazione di completezza. Operatori con spettro continuo.

#### Testi

-Susskind L and Friedman A, Meccanica quantistica -- Raffaello Cortina Editore 2015 -Susskind L and Friedman A, Relatività ristretta e teoria classica dei campi -- Raffaello Cortina Editore 2018

#### Bibliografia di riferimento

-Weinberg S, Foundations of modern physics (Cambridge, 2021). -Schutz B A first course in General Relativity (Cambridge, 2009, 2022)  
-Lubicz V, Appunti di Meccanica Quantistica (<http://webusers.fis.uniroma3.it/~lubicz/Appunti-MQ.pdf>)

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali

#### Modalità di valutazione

L'esame finale prevede un'interrogazione orale con due domande: una sulla Relatività Speciale ed una sulla Meccanica Quantistica. Qualora gli studenti ne facessero richiesta, è possibile pianificare delle prove di esonero durante il corso.

#### English

#### Prerequisites

Bachelor-level knowledge of physics and mathematics. Whenever needed, all notions are anyway briefly recalled during the lectures.

#### Programme

Part I Invitation Fundamental physics as a theory of motion. The revolution of the XX century: quantum mechanics, special and general relativity, quantum field theory. The challenge of quantum gravity. Basic constants:  $h$ ,  $c$  and  $G$ . The cube of theories. Introduction: the status of physics at the end of the XIX century Precession of Mercury's perihelion. The discovery of radioactivity. Michelson and Morley and the speed of light. Black body radiation. Photoelectric effect. Compton diffusion. Compton wavelength. De Broglie and matter waves. Davisson and Germer and electron diffraction. Neglected hints from the past: equivalence of inertial and gravitational masses. Action at a distance. Similarities between gravitostatic and electrostatic forces. Mathematical interlude: Waves. Part II: Special Relativity Reference systems and observers. Galilean Relativity. Principles of Newtonian mechanics. Galilean transformations. Maxwell's equations and electromagnetic waves. The aether hypothesis and Michelson-Morley's experiment. Constancy of  $c$  and principles of Special Relativity. Space-time diagrams. Simultaneity. Boosts.  $c$  as the maximal signal speed. Length contraction and time dilation. Atmospheric muon lifetime. Invariance of the space-time interval. Minkowski space. Time-like, null and space-like intervals. Proper time. Causal structure of Minkowski space. Composition of velocities. The Doppler effects. The twin paradox. The garage paradox. Time

dilation and gravitational time delay. Isometries in Minkowski space: pseudo-orthogonality and Lorentz transformations. Four-vectors: relativistic velocity and acceleration. Relativistic dynamics: action principle. Energy, momentum and conservation of the four-momentum. Dispersion relation. Particles of zero mass. Relativistic force. Covariant formulation of electromagnetism: Maxwell's tensor and inhomogeneous equations. The Lorentz force. Homogeneous Maxwell's equations: the vector potential; gauge invariance and its meaning. Part III: Quantum Mechanics Spin and qubits. Stern-Gerlach experiments. Physical states. Spin states: basis and normalization. Global phases. Bras and kets. Principles of QM: states, observables, measures, probabilistic interpretation. Pauli matrices and spin observables. Spectrum of the spin operator along an arbitrary direction. Time evolution. The operator  $U(t, t_0)$ . Unitarity and its meaning. Schrödinger's equation. Hamiltonian. Time evolution of averages. Classical mechanics and Poisson brackets. Conservation laws. Spin in magnetic field. Compatible and incompatible observables. The uncertainty principle. Two-spin systems. Product states and entangled states. Singlet and triplet states. Observables on composite systems. Pure states and mixed states: the density matrix. Entanglement and density matrix. Tests of entanglement. Waves and particles. Position and momentum operators and their eigenfunctions. Basics of canonical quantization. Free particle Hamiltonian and its spectrum. Quantum Newton's second law. The harmonic oscillator. Creation and annihilation operators. Energy levels. Classically forbidden regions: the tunnel effect. Pathway towards relativistic quantum mechanics. Mathematical interludes: Complex vector spaces. Scalar product. Hermitian operators. Exterior products and projectors. Completeness relation. Operators for continuous spectra.

### Reference books

-Susskind L and Friedman A, Quantum Mechanics. The Theoretical Minimum (2014) -Susskind L and Friedman A, Special Relativity and Classical Field Theory. The Theoretical Minimum} (2017)

### Reference bibliography

-Weinberg S, Foundations of modern physics (Cambridge, 2021). -Schutz B A first course in General Relativity (Cambridge, 2009, 2022)  
-Lubicz V, Lectures on Quantum Mechanics (in Italian) <http://webusers.fis.uniroma3.it/~lubicz/Appunti-MQ.pdf>

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410448 - FS410 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA FISICA

**Docente:** ORESTANO DOMIZIA

### Italiano

#### Prerequisiti

frequenza dei corsi di fisica generale FS110 (Fisica I) e FS220 (Fisica II)

#### Programma

Grandezze Fisiche. Grandezze fisiche Intensive ed Estensive. Misure dirette e indirette. Grandezze di Base e Derivate. Unità di misura. Sistemi di unità di misura. Cambiamento di unità di misura. Dimensioni fisiche principio di omogeneità e analisi dimensionale. Strumenti di misura. Strumenti Analogici e Digitali. Caratteristiche degli strumenti di misura: Portata, Soglia, Risoluzione, Linearità e Sensibilità. Accuratezza e Precisione degli strumenti. Incertezza nella misurazione. Definizione di Errore di misura. Errori casuali ed errori sistematici. Concetto di incertezza di misura. Cause delle incertezze. Incertezze di Tipo A e Tipo B. Analisi grafica dei dati Uso di Tabelle e grafici per la rappresentazione e l'analisi preliminare dei dati senza l'ausilio degli strumenti statistici. Grafici lineari, semi-logaritmici, doppio-logaritmici. Istogrammi. Propagazione delle incertezze. Incertezza nelle misurazioni indirette. Propagazione delle incertezze per grandezze indipendenti. Variabili casuali correlate. Definizione di coefficiente di correlazione. Propagazione delle incertezze per grandezze correlate Programma di laboratorio - Misurazioni di grandezze fondamentali: massa, lunghezza, tempo – Determinazione dell'incertezza sulla misura: sensibilità dello strumento, -Deviazione standard in misure ripetute, propagazione delle incertezze - Incertezza sulla media in misure ripetute e dipendenza dalle dimensioni del campione – Studio del pendolo semplice: verifica dell'indipendenza del periodo dalla massa, studio della dipendenza del periodo dalla lunghezza, misura di  $g$  – Studio del moto di un carrello sul piano inclinato, effetto dell'attrito, misura di  $g$  - Studio statico e dinamico della costante elastica di una molla – Misurazione di resistenze con metodo voltampereometrico, studio di un partitore resistivo – Studio della diffrazione - verifica della legge di Snell

#### Testi

materiale che verrà fornito durante il corso dai docenti

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula per gli aspetti teorici, progettazione e realizzazione di misure in laboratorio nelle esercitazioni

#### Modalità di valutazione

presentazione di un modulo didattico per scuole medie (inferiori o superiori) che includa la discussione di un'esperienza di laboratorio

### English

#### Prerequisites

attendance to the general physics courses FS110 (Fisica I) and FS220 (Fisica II)

#### Programme

Physical quantities. Intensive and extensive physical quantities. Direct and indirect measurements. Basic and derived quantities. Units

of measurement. Units of measurement systems. Change of units. Dimensions, physical principle of homogeneity and dimensional analysis. Measurement tools. Analogical and Digital Instruments. Characteristics of the instruments: Range, Threshold, Resolution, Linearity and Sensitivity. Accuracy and Precision. Uncertainty in measurements. Definition of measurement error. Random errors and systematic errors. Concept of measurement uncertainty. Causes of uncertainties. Uncertainties of Type A and Type B. Graphical analysis of data. Usage of tables and graphs for representation and preliminary analysis of data without the use of statistical tools. Linear, semi-logarithmic graphs, Double-logarithmic. Histograms. Propagation of uncertainties. Uncertainty in indirect measurements. Propagation of uncertainties for independent quantities. Correlated random variables. Definition of correlation coefficient. Propagation of uncertainties for correlated quantities. Laboratory program - Measurements of fundamental quantities: mass, length, time - Determination of measurement uncertainty: sensitivity of the instrument, - Standard deviation in repeated measurements, propagation of uncertainties - Uncertainty on the average in repeated measurements and dependence on sample size - Study of the pendulum: verification of the independence of the period from the mass, study of the dependence of the period on the length, measurement of  $g$  - Study of the motion of a cart on the inclined plane, effect of friction, measurement of  $g$  - Static and dynamic study of the elastic constant of a spring - Measurement of resistances with voltamperometric method, study of a resistive voltage divider - Study of diffraction - verification of Snell's law

### Reference books

notes distributed during the classes

### Reference bibliography

-

### 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 è 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

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

## 20410437 - FS430- TEORIA DELLA RELATIVITÀ

**Docente:** FRANZIA DARIO

**Italiano**

### Prerequisiti

Relatività Speciale; conoscenze base di teoria dei campi classica ed elettromagnetismo in forma covariante

### 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. § VII. 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; some basic knowledge of classical field theory and electromagnetism in covariant form

### 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 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)  
-Weinberg S, Gravitation and Cosmology - principles and applications of the general theory of relativity, (John Wiley & Sons, 1972)  
-Wald R, General Relativity (The University of Chicago Press, 1984)

### 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

-

## 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 densità. (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

Altri testi consigliati: 2) K. Huang, Meccanica Statistica, Zanichelli, 1997. 3) L. Peliti, Appunti di Meccanica Statistica, Bollati Boringhieri, 2003. 4) Joel L. Lebowitz, Statistical mechanics: A selective review of two central issues, Reviews of Modern Physics, 71, S346 (1999).

### 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

Further reading: 2) K. Huang, Meccanica Statistica, Zanichelli, 1997. 3) L. Peliti, Appunti di Meccanica Statistica, Bollati Boringhieri, 2003. 4) Joel L. Lebowitz, Statistical mechanics: A selective review of two central issues, Reviews of Modern Physics, 71, S346 (1999).

### 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 (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 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 consistono 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-Russell 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-Russell (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 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 consistono 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

-

## 20410449 - GE410 - GEOMETRIA ALGEBRICA 1

**Docente:** CAPORASO LUCIA

## Italiano

### Prerequisiti

Algebra di base (algebra lineare, gruppi, anelli, campi). Geometria affine e proiettiva di base

### Programma

Teoria delle varietà algebriche in spazi affini e proiettivi su campi algebricamente chiusi. Morfismi e varietà di Veronese e di Segre, Prodotti, proiezioni. Geometria locale delle varietà algebriche. Divisori, sistemi lineari e morfismi di varietà proiettive. Complementi di algebra commutativa.

### Testi

I. Shafarevich. Basic algebraic geometry vol. 1 Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1977. L. Caporaso. Introduzione alla geometria algebrica. Versione preliminare.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

Seminario su argomenti a scelta.

## English

### Prerequisites

Basic algebra (linear algebra, groups, rings, fields). Basic affine and projective geometry

### Programme

Algebraic varieties in affine and projective spaces over algebraically closed fields. Veronese and Segre varieties. Products and projections. Local geometry of algebraic varieties Divisors linear systems and e morphisms of projective varieties. Commutative algebra

### Reference books

I. Shafarevich. Basic algebraic geometry vol. 1 Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1977. L. Caporaso. Introduzione alla geometria algebrica . Versione preliminare.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410465 - GE450 - TOPOLOGIA ALGEBRICA

**Docente:** MASCARENHAS MELO ANA MARGARIDA

### Italiano

#### Prerequisiti

GE220 Topologia AL110 Algebra 1

#### Programma

Categorie. Complessi simpliciali astratti e geometrici. Omologia singolare e simpliciale. Coomologia. Teoremi di dualità . Omologia persistente e analisi dei dati. Elementi di topologia differenziale. Forme differenziali e coomologia di de Rham

#### Testi

Allen Hatcher: Algebraic topology Cambridge University press. Vidit Nanda: Computational Algebraic Topology - Lecture notes James R. Munkres : Topology Prentice Hall. Raoul Bott, Loring W. Tu, Differential forms in algebraic topology. Springer, (1986). Marco Abate, Francesca Tovena, Geometria Differenziale. Springer, (2011).

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

Prova scritta tradizionale e consegna e discussione di esercizi durante il corso.

### English

#### Prerequisites

GE220 Basic Topology AL110, Algebra 1

#### Programme

Categories. Abstract and geometrical simplicial complexes. Singular homology and simplicial homology. Cohomology Duality Theorems Persistent homology and data analysis Elements of differential topology Differential forms and de Rham cohomology

#### Reference books

Allen Hatcher: Algebraic topology Cambridge University press. Vidit Nanda: Computational Algebraic Topology - Lecture notes James R. Munkres : Topology Prentice Hall. Raoul Bott, Loring W. Tu, Differential forms in algebraic topology. Springer, (1986). Marco Abate, Francesca Tovena, Geometria Differenziale. Springer, (2011).

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410462 - GE510 - GEOMETRIA ALGEBRICA 2

**Docente:** TURCHET AMOS

## Italiano

### Prerequisiti

GE410: Geometria Algebrica 1 AL410: Algebra Commutativa I prerequisiti dei precedenti corsi saranno comunque richiamati in classe e saranno dati riferimenti bibliografici opportuni.

### Programma

Testi da definire

### Testi

Dispense del docente

### Bibliografia di riferimento

R. Hartshorne, Algebraic geometry, Graduate Texts in Math. No. 52. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1977. U. Gortz, T. Wedhorn: Algebraic Geometry I, Viehweg + Teubner (2010). R. Vakil, The Rising Sea: Foundations Of Algebraic Geometry Notes, available online at <https://math.stanford.edu/~vakil/216blog/>

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

Prova orale comprendente seminario su argomento concordato con il docente e verifica apprendimento di alcuni teoremi fondamentali del corso.

## English

### Prerequisites

GE410: Algebraic Geometry 1 AL410: Commutative Algebra Prerequisites of the afore-mentioned course will be recalled in class and relevant bibliography will be shared with the students..

### Programme

-

### Reference books

Teacher's notes

### Reference bibliography

R. Hartshorne, Algebraic geometry, Graduate Texts in Math. No. 52. Springer-Verlag, New York-Heidelberg, 1977. U. Gortz, T. Wedhorn: Algebraic Geometry I, Viehweg + Teubner (2010). R. Vakil, The Rising Sea: Foundations Of Algebraic Geometry Notes, available online at <https://math.stanford.edu/~vakil/216blog/>

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20411007 - GL410 - INTRODUZIONE ALLA GEOLOGIA

**Docente:** CIFELLI FRANCESCA

## Italiano

### Prerequisiti

Nozioni di base di chimica e fisica

### Programma

Il corso è organizzato in tre unità didattiche dedicate ai principi base di geologia e di astronomia (La Terra nello Spazio). La prima unità didattica si svolge nel primo semestre, durante il quale vengono affrontati argomenti riguardanti i principi generali della geologia e il ciclo delle rocce. Nel dettaglio gli argomenti trattati sono i seguenti. Il metodo scientifico: ipotesi, teoria, legge. Il principio dell'attualismo; composizione chimica della Terra e sua differenziazione. Il concetto di tempo in geologia. I sistemi del pianeta Terra e le loro interazioni: atmosfera, idrosfera, biosfera e geosfera. La fisiografia del pianeta: continenti ed oceani. Il modello unificante: la tettonica delle placche. I principali minerali costituenti le rocce: elementi di classificazione. Le rocce ignee: criteri di classificazione. Origine dei magmi e loro contesto geodinamico. I vulcani: forme e prodotti dell'attività vulcanica. I processi di alterazione e la genesi dei suoli. Le rocce sedimentarie: loro origine e classificazione. Le rocce metamorfiche: loro origine e classificazione. Durante il primo semestre le esercitazioni pratiche sono dedicate al riconoscimento macroscopico dei minerali e delle rocce. La seconda unità didattica si svolge nel secondo semestre, dove sono affrontati argomenti relativi alla dinamica del pianeta Terra e agli ambienti sedimentari. Nel dettaglio gli argomenti trattati sono i seguenti. I terremoti: loro significato e distribuzione. Gli tsunami. Cenni sulla deformazione delle rocce: faglie e pieghe. Cenni sull'origine e struttura delle catene montuose. La registrazione del tempo nelle rocce. Principi di sovrapposizione, di intersezione e di inclusione. Lacune stratigrafiche e discordanze angolari. Il record fossile. Datazioni radiometriche. La scala del tempo geologico. Le acque superficiali, i deserti, i ghiacciai, gli ambienti costieri. Durante il secondo semestre le esercitazioni pratiche sono dedicate all'interpretazione delle carte geologiche e alla costruzioni di sezioni geologiche. Sempre nel secondo semestre per la terza unità didattica (La Terra nello Spazio) vengono trattati i seguenti argomenti. Le conoscenze astronomiche e geografiche (la Terra e la sfera celeste; misurazione del tempo; la misura della Terra). Il pianeta Terra nel Sistema Solare (caratteristiche orbitali della Terra e dei

planeti; le variazioni orbitali cicliche di lungo e breve periodo; l'orbita planetaria e i fattori di controllo climatici). La formazione del pianeta e le interazioni con l'ambiente cosmico (meteoriti e formazione del sistema solare; accrezione della Terra e dei pianeti terrestri; la Terra e le meteoriti; il sistema Terra-Luna). Nel corso del secondo semestre è prevista la visita ad alcuni tra i principali siti astronomici della Città di Roma, ed in particolare alla Meridiana Clementina della Basilica di S. Maria degli Angeli (Roma) per osservare il moto diurno e annuale del Sole, gli effetti della stagionalità, le variazioni astronomiche collegate alla precessione equinoziale, le conseguenze verificabili collegate alle variazioni millenarie dell'obliquità dell'asse di rotazione. Escursioni sul terreno Durante il corso saranno svolte quattro escursioni di terreno, due nel primo semestre e due nel secondo semestre. Le prime due si svolgeranno all'interno della città di Roma (Parco della Caffarella e centro storico), la terza si svolgerà sui Monti Prenestini e la quarta, dedicata all'astronomia, di nuovo nel centro storico della città. L'obiettivo principale delle escursioni è quello di inserire l'insieme delle competenze acquisite durante l'anno scolastico all'interno del loro ambito naturale, rappresentato dall'analisi di terreno che rappresenta il campo principale di osservazione del geologo. Gli obiettivi specifici riguardano: osservazione della relazione tra morfologia e litologia (erodibilità, assetto giaciturale, forme del rilievo, processi di erosione chimica e meccanica), apprendimento delle tecniche di acquisizione di dati giaciturali (direzione, inclinazione, immersione) e loro messa in carta, lettura delle carte topografiche, uso del quaderno di campagna, punto in carta, definizione e riconoscimento dei limiti formazionali, cartografia geologica di base, costruzione di sezioni geologiche semplici a partire dai dati di campagna, riconoscimento dei principali litotipi di rocce sedimentarie e vulcaniche e loro ambiente di formazione. Le attività di terreno sono di natura sperimentale e riguardano principalmente la raccolta di dati originali e la loro elaborazione cartografica. Durante le escursioni verranno svolte le seguenti attività relative all'astronomia. Osservazione astronomica virtuale al Planetario di Rocca di Cave: riconoscimento dei principali riferimenti della volta celeste, osservazione dei fenomeni legati alla rotazione diurna, riconoscimento degli astri e delle costellazioni del periodo, identificazione dell'eclittica, dei pianeti osservabili e dei loro moti, Osservazione dei corpi celesti al telescopio della stazione osservativa di Rocca di Cave: osservazioni di oggetti di cielo profondo e dei dettagli macroscopici delle superfici planetarie, cenni sull'utilizzazione dei dispositivi CCD per l'acquisizione di immagini planetarie e trattamento dei dati.

## Testi

- John P. Grotzinger Thomas H Jordan. Capire la Terra. Zanichelli, Bologna. Pagine: 752 ISBN: 9788808821232 - Tarbuck E.J., Lutgens F.K. & Tozzi M. – Scienze Della Terra. – Principato, Milano. Pagine: 572 ISBN: 9788841656501 - E. Lupia Palmieri & M. Parotto - La Terra nello spazio. Zanichelli, Bologna. Pagine 456 - ISBN 9788808063892. (Capitoli 3,4) - Stephen Marshak. Essentials of Geology. WW Norton & Co ISBN: 978-0-393-88309-1. - J. K. Beatty, C. C. Petersen & A. Chaikin. The New Solar System. Carolyn Collins Petersen. Sky Publishing Corporation-Cambridge University Press. ISBN:0-933346-86-7. (Capitoli 7,8,11,15,20)

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Testi da definire

## Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova scritta della durata di 4 ore, finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in contesti reali. La prova scritta prevede: 1) 30 domande (risposta multipla, vero o falso, risposte aperte) sugli argomenti di geologia trattati nel corso (inclusi quelli affrontati durante il campo); 2) 5 domande aperte sugli argomenti di "La Terra nello Spazio" trattati nel corso; 3) la costruzione di una sezione geologica a partire da una carta geologica semplice. Per la parte teorica alla fine del primo semestre è previsto un esonero, relativo agli argomenti trattati nella prima parte del corso. L'esonero prevede 20 domande (risposta multipla, vero o falso, risposte aperte) Per coloro che avranno superato l'esonero, la prova scritta finale relativa alla teoria riguarderà esclusivamente gli argomenti trattati nel secondo semestre e consisterà in 20 domande (risposta multipla, vero o falso, risposte aperte).

## English

### Prerequisites

Basics of chemistry and physics

### Programme

The course is organized in three teaching units dedicated to the basic principles of geology and astronomy (The Earth in Space). The first teaching unit takes place in the first semester, during which topics concerning the general principles of geology and the rock cycle are discussed. The topics covered in this teaching unit are detailed in the following. The scientific method: hypothesis, theory, law. The principle of uniformitarianism. Chemical composition of the Earth and its differentiation. The concept of time in geology. The Earth as an integrated system: atmosphere, hydrosphere, biosphere and geosphere. The physiography of the Planet: continents and oceans. The unifying model: plate tectonics. Minerals, rocks and their classification. Igneous rocks: classification criteria. Origin of magmas and their geodynamic context. Volcanoes: shapes and products of volcanic activity. The processes of alteration and the genesis of soils. Sedimentary rocks: their origin and classification. Metamorphic rocks: their origin and classification. During the first semester, practical activities are dedicated to the macroscopic recognition of minerals and rocks. The second teaching unit takes place in the second semester, where topics related to the dynamics of planet Earth and sedimentary environments are discussed. The topics covered in this teaching unit are detailed in the following. Earthquakes: genesis and distribution. Tsunamis. Notes on the deformation of rocks: faults and folds. Notes on the origin and structure of the mountain ranges. Recording time in the rocks. Principles of superposition, cross-cutting and intrusion. Stratigraphic gaps and angular unconformities. The fossil record. Radiometric dating. The geological time scale. Surface running waters, deserts, glaciers, coastal environments. During the second semester, practical activities are devoted to the interpretation of geological maps and the construction of geological sections. The third teaching unit (The Earth in Space) takes place in the second semester as well. The following topics are covered. Astronomical and geographical elements (the Earth and the celestial sphere; time measurement; the measurement of the Earth). The planet Earth in the Solar System (orbital characteristics of the Earth and the planets; the cyclical orbital variations; the planetary orbit and the climatic control factors). The origin of the Earth and the interactions with the cosmic environment (meteorites and formation of the solar system; accretion of the Earth and of the terrestrial planets; the Earth and the meteorites; the Earth-Moon system). This teaching unit includes a visit to some of the main astronomical sites of the City of Rome is planned, and in particular at the Meridiana Clementina of the Basilica of S. Maria degli Angeli (Rome) to observe the diurnal and annual motion of the Sun, the effects of seasonality, the astronomical variations connected to the equinoctial precession cycle, the related consequences to the millennial variations of the obliquity of the rotation axis. Field activity During the course four field excursions will be carried out, two in the first semester and two in the second semester. The first two will take place within the city of Rome (Parco della Caffarella and historic center), the third will take place in the Prenestini Mountains and the fourth, dedicated to

astronomy, again in the historic city center. The main objective of the field activity is to link the skills acquired during course attendance within the natural environment, represented by the field analysis that represents the geologist's main goal. The specific objectives are: observation of the relationship between morphology and lithology (erodibility, subsurface structure, relief shapes, chemical and mechanical erosion processes), learning data acquisition techniques (strike, dip, azimuth of the dip) and annotating them in the field notebook, reading topographic maps, definition and recognition of geological limits, basic geological cartography, construction of simple geological sections starting from the field data, recognition of the main lithotypes of sedimentary and volcanic rocks and their origin. During the field experience, several activities are carried out. Virtual astronomical observation at the Rocca di Cave Planetarium: recognition of the main references of the celestial vault, observation of phenomena related to diurnal rotation, recognition of the stars and constellations of the current season, identification of the ecliptic, of the observable planets and their motions, observation of the celestial bodies at the telescope of the observatory station of Rocca di Cave, observations of deep-sky objects and macroscopic details of planetary surfaces, notes on the use of CCD devices for the acquisition of planetary images and data processing.

### Reference books

- John P. Grotzinger Thomas H Jordan. Capire la Terra. Zanichelli, Bologna. Pagine: 752 ISBN: 9788808821232 - Tarbuck E.J., Lutgens F.K. & Tozzi M. – Scienze Della Terra. – Principato, Milano. Pagine: 572 ISBN: 9788841656501 - E. Lupia Palmieri & M. Parotto - La Terra nello spazio. Zanichelli, Bologna. Pagine 456 - ISBN 9788808063892. (Capitoli 3,4) - Stephen Marshak. Essentials of Geology. WW Norton & Co ISBN: 978-0-393-88309-1. - J. K. Beatty, C. C. Petersen & A. Chaikin. The New Solar System. Carolyn Collins Petersen. Sky Publishing Corporation-Cambridge University Press. ISBN:0-933346-86-7. (Capitoli 7,8,11,15,20)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20411007 - GL410 - INTRODUZIONE ALLA GEOLOGIA

**Docente:** MATTEI MASSIMO

### Italiano

#### Prerequisiti

Nozioni di base di chimica e fisica

#### Programma

L'ambiente celeste; il Sistema solare; forma e dimensioni della Terra; i moti principali della Terra (rotazione e rivoluzione); i moti millenari della Terra; la Terra e la Luna. La Terra come sistema integrato I materiali della Terra: i minerali, i processi litogenetici, il ciclo litogenetico. L'evoluzione del Pianeta Terra e il concetto di tempo profondo in geologia.

#### Testi

Capire la Terra J.P. Grotzinger, T-H Jordan (Terza edizione italiana condotta sulla settima edizione americana) Il Globo Terrestre e la sua evoluzione E. L. Palmieri e M. Parotto Sesta Edizione (2008) Materiale didattico distribuito nel corso

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

La prova scritta sarà svolta attraverso 40 domande a risposta multipla, vero o falso e a risposta aperta

### English

#### Prerequisites

Basics of chemistry and physics

#### Programme

The celestial environment; the Solar System; shape and size of the Earth; the main motions of the Earth (rotation and revolution); the millennial motions of the Earth; the Earth and the Moon. The Earth as an integrated system The materials of the Earth: minerals, lithogenic processes, the lithogenic cycle. The evolution of Planet Earth and the concept of deep time in geology.

#### Reference books

Capire la Terra J.P. Grotzinger, T-H Jordan (Terza edizione italiana condotta sulla settima edizione americana) Il Globo Terrestre e la sua evoluzione E. L. Palmieri e M. Parotto Sesta Edizione (2008) Educational material distributed during the course

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410442 - IN420 - TEORIA DELL'INFORMAZIONE

**Docente:** BONIFACI VINCENZO

### Italiano

#### Prerequisiti

Elementi di probabilità discreta. [CP210 Introduzione alla Probabilità]

#### Programma

1. Introduzione alla teoria dell'informazione Trasmissione affidabile dell'informazione. Contenuto informativo secondo Shannon. Misure di informazione. Entropia, mutua informazione, divergenza informazionale. Compressione dati. Correzione d'errore. Teoremi di elaborazione dei dati. Disuguaglianze fondamentali. Diagrammi d'informazione. Divergenza informazionale e massima verosimiglianza. 2. Codifica di sorgente e compressione dati Sequenze tipiche. Tipicità in probabilità. Proprietà di equipartizione asintotica. Codifica a blocco e a lunghezza variabile. Tasso di codifica. Teorema della codifica di sorgente. Compressione dati senza perdita. Codice di Huffman. Codici universali. Compressione Ziv-Lempel. 3. Codifica di canale Capacità di canale. Canali discreti senza memoria. Informazione trasportata da un canale. Criteri di decodifica. Teorema della codifica di canale con rumore. 4. Ulteriori codici ed applicazioni Spazio di Hamming. Codici lineari. Matrice generatrice e matrice di controllo. Codici ciclici. Codici hash.

#### Testi

F. Fabris. Teoria dell'informazione, codici, cifrari. Bollati Boringhieri, 2001.

#### Bibliografia di riferimento

T.M. Cover, J.A. Thomas. Elements of Information Theory. Wiley, 1991. <br> V. Guruswamy, A. Rudra, M. Sudan. Essential Coding Theory. Bozza disponibile online, 2019. <br> R.E. Blahut. Algebraic Codes for Data Transmission. Cambridge University Press, 2003. <br> T.C. Bell, J.G. Cleary, I.H. Witten. Text Compression. Prentice-Hall, 1990.

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali con esercitazioni frontali.

#### Modalità di valutazione

Esame orale.

### English

#### Prerequisites

Elements of discrete probability. [CP210 Introduzione alla Probabilità]

#### Programme

1. Introduction to information theory. Reliable transmission of information. Shannon's information content. Measures of information. Entropy, mutual information, informational divergence. Data compression. Error correction. Data processing theorems. Fundamental inequalities. Information diagrams. Informational divergence and maximum likelihood. 2. Source coding and data compression Typical sequences. Typicality in probability. Asymptotic equipartitioning property. Block codes and variable length codes. Coding rate. Source coding theorem. Lossless data compression. Huffman code. Universal codes. Ziv-Lempel compression. 3. Channel coding Channel capacity. Discrete memoryless channels. Information transmitted over a channel. Decoding criteria. Noisy channel coding theorem. 4. Further codes and applications Hamming space. Linear codes. Generating matrix and check matrix. Cyclic codes. Hash codes.

#### Reference books

D.J.C. MacKay. Information Theory, Inference and Learning Algorithms. Cambridge University Press, 2004.

#### Reference bibliography

T.M. Cover, J.A. Thomas. Elements of Information Theory. Wiley, 1991. <br> V. Guruswamy, A. Rudra, M. Sudan. Essential Coding Theory. Online draft, 2019. <br> R.E. Blahut. Algebraic Codes for Data Transmission. Cambridge University Press, 2003. <br> T.C. Bell, J.G. Cleary, I.H. Witten. Text Compression. Prentice-Hall, 1990.

#### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20411002 - IN510 – QUANTUM COMPUTING

( IN510 – QUANTUM COMPUTING MODULO B )

**Docente:** PEDICINI MARCO

### Italiano

#### Prerequisiti

Probabilità discreta ed algebra lineare, programmazione di base.

#### Programma

Testi da definire

## Testi

Testi da definire

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Testi da definire

## Modalità di valutazione

Testi da definire

## English

## Prerequisites

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

## Programme

-

## Reference books

-

## 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. <br> G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani. An Introduction to Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2013. <br> K.P. Murphy. Probabilistic Machine Learning. MIT Press, 2022. <br> T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2008. <br> 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. <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. <br> G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani. An Introduction to Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2013. <br> K.P. Murphy. Probabilistic Machine Learning. MIT Press, 2022. <br> T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2nd edition, 2008. <br> C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410451 - LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1

( LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO B )

**Docente:** TORTORA DE FALCO LORENZO

## Italiano

### Prerequisiti

Il modulo A del corso.

### Programma

Dimostrazione del teorema di compattezza per linguaggi di cardinalità qualsiasi. Linguaggi con uguaglianza. Il teorema di compattezza per i linguaggi con uguaglianza. Correttezza e completezza per i linguaggi con uguaglianza. Il teorema di L<sup>o</sup>owenheim-Skolem per i linguaggi con uguaglianza (numerabili). Limiti espressivi del linguaggio del primo ordine. Equivalenza elementare, sottostrutture, sottostrutture elementari. Isomorfismo ed equivalenza elementare. La nozione di sottostruttura. Sottostrutture elementari e diagrammi. I teoremi di preservazione. Generalizzazioni del teorema di L<sup>o</sup>owenheim-Skolem. Completezza di una teoria.

### Testi

V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 1 Dimostrazioni e modelli al primo ordine, Springer, 2014

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso prevede Didattica frontale; Discussioni con gli studenti e dibattiti sugli argomenti trattati; Esercitazioni; La frequenza non è obbligatoria ma è vivamente raccomandata.

### Modalità di valutazione

Esame scritto e/o orale, di durata variabile, in media tra 30 e 45 minuti.

## English

### Prerequisites

Modulo A of the course.

### Programme

Proof of the compactness theorem for languages of any cardinality. Languages with equality. The compactness theorem for languages with equality. Correctness and completeness for languages with equality. L<sup>o</sup>owenheim-Skolem's theorem for (denumerable) languages with equality. The limits of the expressive power of first order languages. Elementary equivalence, substructures, elementary substructures. Isomorphisms and elementary equivalence. The notion of substructure. Elementary substructures and diagrams. The preservation theorems. Generalisations of the L<sup>o</sup>owenheim-Skolem's theorem. Completeness of a theory.

### Reference books

V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 1 Dimostrazioni e modelli al primo ordine, Springer, 2014

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410451 - LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1

( LM410 -TEOREMI SULLA LOGICA 1 - MODULO A )

**Docente:** MAIELI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

nessun requisito specifico

### Programma

Parte 1: Alcune nozioni preliminari. Relazioni d'ordine e alberi, definizioni induttive, dimostrazioni per induzione, assioma di scelta e lemma di König. Parte 2: Dimostrabilità e soddisfacibilità Linguaggio formale del primo ordine: alfabeto, termini, formule, sequenti. Strutture per un linguaggio del primo ordine: strutture, termini e formule a parametri in una struttura, valutazione di termini, formule e sequenti. Calcolo dei sequenti per la logica del primo ordine: il calcolo dei sequenti LK di Gentzen. Sequenti derivabili e derivazioni. Correttezza delle regole di LK. Analisi canonica e teorema fondamentale: costruzione dell'analisi canonica (con e senza tagli) e dimostrazione del teorema fondamentale dell'analisi canonica. Conseguenze del teorema fondamentale dell'analisi canonica: teoremi di completezza, eliminabilità del taglio, compattezza, Löwenheim-Skolem. Parte 3: Verso la teoria della dimostrazione: il teorema di eliminazione del taglio. La procedura di eliminazione del taglio. Definizione dei passi elementari di eliminazione del taglio. Prima strategia dimostrativa (riduzione a grandi passi). Seconda strategia dimostrativa (rovesciamento delle derivazioni). Cenni sulla complessità della procedura di eliminazione del taglio. Qualche conseguenza immediata del teorema di eliminazione del taglio.

### Testi

V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 1 Dimostrazioni e modelli al primo ordine, Springer, 2014  
<https://sites.google.com/view/lm410/home>

### Bibliografia di riferimento

V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 1 Dimostrazioni e modelli al primo ordine, Springer, 2014  
<https://sites.google.com/view/lm410/home>

### Modalità erogazione

Il corso prevede Didattica frontale; Discussioni con gli studenti e dibattiti sugli argomenti trattati; Esercitazioni; La frequenza non è obbligatoria ma è vivamente raccomandata. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 verranno valutate le modalità di svolgimento delle attività didattiche. Si cercherà di limitare l'inevitabile danno agli studenti dovuto ad un'eventuale necessità di tenere il corso a distanza preservando, per quanto possibile, l'interattività durante le lezioni. È previsto lo streaming sincrono delle lezioni senza registrazione delle lezioni svolte in aula.

### Modalità di valutazione

Esame scritto e/o orale, di durata variabile, in media tra 45 e 60 minuti. Nel caso di misure restrittive dovute alla emergenza sanitaria da COVID-19 verranno valutate le modalità di svolgimento degli esami. Si cercherà di limitare l'inevitabile danno agli studenti dovuto ad un'eventuale necessità di tenere gli esami a distanza.

## English

### Prerequisites

No specific prerequisite

### Programme

Part 1: Some preliminary notions. Order relations and trees, inductive definitions, proofs by induction, axiom of choice and König's lemma. Part 2: Provability and satisfiability. First order formal language: alphabet, terms, formulas, sequents. Structures for first order languages: structures, terms and formulas with parameters in a structure, value of terms, formulas and sequents. The calculus of sequents for first order logic: Gentzen's LK. Derivable sequents and derivations. Correctness of the rules of LK. Canonical analysis and fundamental theorem: construction of the canonical analysis (with and without cuts) and proof of the fundamental theorem of the canonical analysis. Consequences of the fundamental theorem: completeness theorem, compactness theorem, eliminability of cuts, Löwenheim-Skolem's theorem. Part 3: Towards proof-theory: the cut-elimination theorem. The cut-elimination procedure. Definition of the elementary steps of cut-elimination. First proof strategy (big reduction steps). Second proof strategy (reversion of derivations). The complexity of the cut-elimination procedure (sketch). Some immediate consequences of the cut-elimination theorem.

### Reference books

V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 1 Dimostrazioni e modelli al primo ordine, Springer, 2014  
<https://sites.google.com/view/lm410/home>

### Reference bibliography

V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 1 Dimostrazioni e modelli al primo ordine, Springer, 2014

<https://sites.google.com/view/lm410/home>

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410455 - LM420 - TEOREMI SULLA LOGICA 2

**Docente:** TORTORA DE FALCO LORENZO

### Italiano

#### Prerequisiti

È richiesta una conoscenza preliminare dei teoremi fondamentali sulla logica del primo ordine

#### Programma

Testi da definire

#### Testi

Testi da definire

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

Testi da definire

### English

#### Prerequisites

A basic knowledge of the fundamental theorems on first order logic is required

#### Programme

-

#### Reference books

-

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410613 - LM430 - LOGICA E FONDAMENTI DELLA MATEMATICA

**Docente:** TORTORA DE FALCO LORENZO

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessuno in particolare. È opportuna una conoscenza preliminare dei concetti elementari di matematica insegnati al primo anno di università.

#### Programma

Introduzione alla teoria degli insiemi: aggregati ed insiemi, necessità di una teoria, ordinali e cardinali, antinomie e paradossi, principali caratteristiche della teoria assiomatica. La teoria assiomatica di Zermelo (Z) e quella di Zermelo-Fraenkel (ZF): preliminari e convenzioni, la teoria di Zermelo, l'assioma di rimpiazzamento e la teoria di Zermelo-Fraenkel, estensioni del linguaggio per definizione. Gli ordinali: ordini, buoni ordini e buona fondatezza, buona fondatezza e principio di induzione, i numeri ordinali, buoni ordini ed ordinali, l'induzione ordinale (dimostrazioni e definizioni), argomento diagonale ed ordinali limite, assioma dell'infinito ed aritmetica ordinale, cenni sull'uso degli ordinali in teoria della dimostrazione. Assioma di scelta: formulazioni equivalenti (e dimostrazione dell'equivalenza), insiemi infiniti e assioma di scelta. I cardinali: equipotenza ed insiemi infiniti, i numeri cardinali, aritmetica cardinale.

#### Testi

Testi: V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 2 Incompletezza, teoria assiomatica degli insiemi, Springer, 2018

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezione frontale

### Modalità di valutazione

Esame scritto e/o orale, di durata variabile, in media tra 45 e 60 minuti.

## English

### Prerequisites

No specific prerequisite. Some knowledge of the elementary mathematical concepts taught in the first university courses will help.

### Programme

Introduction to set theory: aggregates and sets, necessity of a theory, ordinals and cardinals, antinomies and paradoxes, main characteristics of axiomatic set theory. Zermelo's axiomatic set theory and Zermelo-Fraenkel's axiomatic set theory: preliminaries and conventions, Zermelo's axioms, the replacement axiom and Zermelo-Fraenkel's theory, extensions of the language by definition. Ordinals: orders, well-orders and well-foundedness, well-foundedness and induction principle, the ordinal numbers, well-orders and ordinals, ordinal induction (proofs and definitions), diagonal argument and limit ordinals, infinity axiom and ordinal arithmetic, hints on the use of ordinals in proof-theory. Axiom of choice: equivalent formulations (and proof of the equivalence), infinite sets and axiom of choice. Cardinals: equipotent sets and infinite sets, the cardinal numbers, cardinal arithmetic.

### Reference books

Testi: V. Michele Abrusci e Lorenzo Tortora de Falco, Logica. Vol. 2 Incompletezza, teoria assiomatica degli insiemi, Springer, 2018

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410621 - MC410 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA

**Docente:** LOPEZ ANGELO

## Italiano

### Prerequisiti

non ci sono prerequisiti per questo corso

### Programma

La matematica nella scuola secondaria: programmi, nodi concettuali e nodi critici; la matematica dei matematici e la matematica per il cittadino. Dall'esercizio al problem solving. Teorie didattiche e didatti. Guido e Emma Castelnuevo. Croce, Gentile e la matematica. Metodologie didattiche. Legislazione scolastica.

### Testi

Battaglini Frank, Di Martino, Natalini, Rosolini "Didattica della matematica", Mondadori Università

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

La valutazione si basa principalmente sull'esposizione di un progetto di attività scolastica e sulla partecipazione attiva

## English

### Prerequisites

No prerequisites

### Programme

The high school mathematics: programs, key and critical points; the mathematicians' mathematics and the mathematics for the citizen. From exercise to problem solving. Didactic theories and theorists. Guido and Emma Castelnuevo. Croce, Gentile and mathematics. Didactic methodologies. Scholastic laws.

### Reference books

Battaglini Frank, Di Martino, Natalini, Rosolini "Didattica della matematica", Mondadori Università

### Reference bibliography

-  
**Study modes**

-

**Exam modes**

-

## 20410456 - MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA

**Docente:** MAGRONE PAOLA

### Italiano

#### Prerequisiti

Contenuti di qualunque corso di primo anno di matematica di base (istituzioni di matematiche, analisi uno...)

#### Programma

Il corso si propone di introdurre gli studenti all'insegnamento della matematica nella scuola secondaria di primo e secondo grado, attraverso un approccio storico-epistemologico ai concetti di base della matematica elementare (aritmetica, geometria, algebra, probabilità, funzioni). In particolare verranno trattati gli argomenti: l'insegnamento della matematica e la sua evoluzione; sistemi numerici; gli assiomi e i postulati di Euclide; le geometrie non euclidee e localmente euclidee; le costruzioni geometriche con riga e compasso e le macchine matematiche; elementi di storia del calcolo infinitesimale. Cenni alle indicazioni nazionali.

#### Testi

GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002

#### Bibliografia di riferimento

ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002 PAOLA MAGRONE, ANA MILLÁN GASCA, I bambini e il pensiero scientifico, Carocci, 2018 FEDERIGO ENRIQUES 1921, "Insegnamento dinamico", Periodico di Matematiche, s. IV, 1, pp. 6-16. GEORGE POLYA, How to solve it, Princeton University Press, 1945, 2a edizione 1957

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali e sessioni laboratoriali. Durante le settimane di lezione vengono assegnate delle consegne da svolgere singolarmente o in gruppo, che verranno corrette e discusse in aula.

#### Modalità di valutazione

La valutazione si basa sulle prove scritte assegnate durante il corso, una prova scritta e una prova orale, a distanza di una settimana

### English

#### Prerequisites

The contents of a Calculus course

#### Programme

The course aims to introduce students to the teaching of mathematics in first and second grade secondary schools, through a historical-epistemological approach to the basic concepts of elementary mathematics (arithmetic, geometry, algebra, probability, functions). In particular: the teaching of mathematics and its evolution; numerical systems; Euclid's axioms and postulates; non-Euclidean and locally Euclidean geometries; geometric constructions with ruler and compass and mathematical machines; elements of history of infinitesimal calculus. Outline of national indications.

#### Reference books

GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002

#### Reference bibliography

ANA MILLÁN GASCA, All'inizio fu lo scriba, Mimesis, 2004 GIORGIO ISRAEL, ANA MILLÁN GASCA, Pensare in matematica, Zanichelli, 2012. ENRICO GIUSTI, Analisi matematica 1, Bollati Boringhieri, 2002 PAOLA MAGRONE, ANA MILLÁN GASCA, I bambini e il pensiero scientifico, Carocci, 2018 FEDERIGO ENRIQUES 1921, "Insegnamento dinamico", Periodico di Matematiche, s. IV, 1, pp. 6-16. GEORGE POLYA, How to solve it, Princeton University Press, 1945, 2a edizione 1957

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410459 - MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA

**Docente:** FALCOLINI CORRADO

### Italiano

#### Prerequisiti

Non ci sono prerequisiti.

### Programma

Uso di programmi didattici nell'insegnamento della matematica: i software GeoGebra e Mathematica. Comandi per il calcolo simbolico e numerico, la visualizzazione di grafici, curve e superfici e la loro animazione al variare di parametri. Esempi di problemi: proprietà dei triangoli nella geometria euclidea ed esempi di geometrie non euclidee, approssimazione di  $\pi$  greco e di altri numeri irrazionali, soluzioni di equazioni e disequazioni, soluzioni di sistemi, determinazione e visualizzazione di particolari luoghi geometrici, derivata di una funzione, calcolo approssimato di aree.

### Testi

Dispense del docente su un elenco di problemi da visualizzare e risolvere (simulando un laboratorio scolastico) con l'aiuto del software Mathematica o GeoGebra.

### Bibliografia di riferimento

C. Falcolini, Teaching mathematics using computers: Algorithms for problem solving and the role of visualization. AIP Conference Proceedings 2096, 020026 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5097823> C. Falcolini, Solving Challenging Problems using GeoGebra...at a Distance. pp.30-44. In YUNGHAP GYOYUK YEON-GU - ISSN:2466-0280 vol. 7 (2) (2021) M. Abate, F. Tovena, Curve e Superfici, Springer (2006)

### Modalità erogazione

Le lezioni, anche in stile laboratoriale, saranno svolte in presenza nel laboratorio informatico del Dipartimento con eventuale collegamento a distanza su piattaforma TEAMS.

### Modalità di valutazione

La prova orale sarà incentrata sulla presentazione di una tesina riguardante una proposta didattica sull'uso del computer per argomenti dei programmi scolastici o di approfondimento.

## English

### Prerequisites

No prerequisites.

### Programme

Teaching mathematics with the help of a computer: GeoGebra and Mathematica softwares. Commands for numerical and symbolic calculus, graphics visualization, parametric surfaces and curves with animations in changing parameters. Solving problems: triangle's properties in Euclidean and non-Euclidean geometry with examples, approximation of  $\pi$  and other irrational numbers, solutions of equations and inequalities, systems of equations, defining and visualizing geometrical loci, function integral and derivatives, approximation of surface area.

### Reference books

List of problems given in class concerning visualization and solutions with the help of software Mathematica or GeoGebra.

### Reference bibliography

C. Falcolini, Teaching mathematics using computers: Algorithms for problem solving and the role of visualization. AIP Conference Proceedings 2096, 020026 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5097823> C. Falcolini, Solving Challenging Problems using GeoGebra...at a Distance. pp.30-44. In YUNGHAP GYOYUK YEON-GU - ISSN:2466-0280 vol. 7 (2) (2021) M. Abate, F. Tovena, Curve e Superfici, Springer (2006)

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410617 - ME410 - ELEMENTI DI ALGEBRA SUPERIORE

**Docente:** BARROERO FABRIZIO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenze base di matematica fornite nella scuola secondaria di secondo grado

### Programma

Relazioni e funzioni I numeri naturali L'anello degli interi e i polinomi Le classi di resto Gruppi

### Testi

G.M. Piacentini Cattaneo, Algebra, un approccio algoritmico, Decibel-Zanichelli, (1996) I. N. Herstein, Algebra, Editori Riuniti, (2003)

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Didattica frontale in aula su lavagna ed esercitazione in classe. Gli studenti sono invitati a iscriversi al corso su Moodle e Teams. Le comunicazioni avverranno attraverso questi canali.

### Modalità di valutazione

L'esame consisterà in una prova scritta ed una orale al termine del corso. Durante il corso sono previste due prove in itinere che saranno valutate come prova scritta dell'esame.

### English

#### Prerequisites

Basic knowledge of mathematics covered in secondary school.

#### Programme

Relations and functions The natural numbers The ring of integers and polynomials Residue classes Groups

#### Reference books

G.M. Piacentini Cattaneo, Algebra, un approccio algoritmico, Decibel-Zanichelli, (1996) I. N. Herstein, Algebra, Editori Riuniti, (2003)

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410618 - ME420 - FONDAMENTI E STORIA DELLA GEOMETRIA

**Docente:** BRUNO ANDREA

### Italiano

#### Prerequisiti

Elementi di algebra e di geometria

#### Programma

1-La geometria greca: le costruzioni con riga e compasso. I problemi greci classici. 2-Gli Elementi di Euclide: Libro I 3-Storia del V Postulato 4-La soluzione di alcuni problemi greci classici e la geometria iperbolica 5-Le isometrie del piano e i gruppi di simmetrie

#### Testi

R. Trudeau: "La rivoluzione non euclidea" ed Boringhieri R. Hartshorne: "Euclid and beyond" ed Springer

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

Vi saranno due prove scritte durante il corso oppure una prova finale, sugli argomenti inerenti al corso

### English

#### Prerequisites

Basic algebra and geometry

#### Programme

1- Greek geometry; constructions with ruler and compass. The classical problems 2- Euclid' s Elements: Book 1 3- The history of Fifth Postulate 4- The solution to some classical problems and hyperbolic geometry 5- Isometries of the plane and symmetry groups

#### Reference books

R. Trudeau: "La rivoluzione non euclidea" ed Boringhieri R. Hartshorne: "Euclid and beyond" ed Springer

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410619 - ME430 - FONDAMENTI E STORIA DELL'ANALISI MATEMATICA

**Docente:** BIASCO LUCA

## Italiano

### Prerequisiti

Corsi di base di analisi

### Programma

I seguenti argomenti fondamentali verranno rivisitati e approfonditi e introdotti da un punto di vista storico: 1.  $\mathbb{R}$  e i suoi sottoinsiemi fondamentali 2. Concetto di limite e limiti notevoli 3. Serie 4. Funzioni continue 5. Derivabilità e monotonia 6. Derivata seconda e convessità 7. Funzioni analitiche elementari (funzioni esponenziali, trigonometriche e loro inverse) 8. Integrali ed aree 9. Il Teorema fondamentale del calcolo integrale 10. I numeri complessi Altri obiettivi del corso Analisi di momenti valutativi scolastici fondamentali quali i test/problemi/questionari dell'Esame di Stato e i test Invalsi. Discussione delle linee guida ministeriali.

### Testi

E. Giusti, Analisi Matematica 1 E. Giusti Piccola storia del calcolo infinitesimale dall'antichità al Novecento

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

5 ore di didattica frontale a settimana. svolgimento di lezione a distanza in diretta e registrazione della lezione stessa.

### Modalità di valutazione

prova scritta con esercizi e successiva prova orale

## English

### Prerequisites

Basic calculus

### Programme

The following key topics will be revisited in depth and introduced from a historical point of view: 1.  $\mathbb{R}$  and its fundamental subsets 2. Concept of limit and notable limits 3. Series 4. Continuous functions 5. Derivability and monotonicity 6. Second derivative and convexity 7. Elementary analytic functions (exponential, trigonometric functions and their inverses) 8. Integrals and areas 9. The Fundamental Theorem of Calculus 10. Complex numbers Other course objectives Analysis of fundamental school evaluation moments such as the tests/problems/questionnaires of the State Exam and the Invalsi tests. Discussion of ministerial guidelines.

### Reference books

E. Giusti, Analisi Matematica 1 E. Giusti Piccola storia del calcolo infinitesimale dall'antichità al Novecento

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410619 - ME430 - FONDAMENTI E STORIA DELL'ANALISI MATEMATICA

**Docente:** MATALONI SILVIA

## Italiano

### Prerequisiti

### Programma

Testi da definire

### Testi

Testi da definire

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

Testi da definire

## English

### Prerequisites

## Programme

-

## Reference books

-

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410620 - ME440 - PROBABILITÀ, STATISTICA E MODELLI

**Docente:** CANDELLERO ELISABETTA

### Italiano

#### Prerequisiti

Corsi base di analisi.

#### Programma

1) Concetti di probabilità di base: combinatoria, assiomi della probabilità, probabilità condizionata e indipendenza, variabili aleatorie discrete e continue con le principali distribuzioni, teoremi limite, esempi. 2) Elementi di statistica: campionamento casuale, definizione di modello statistico e di statistica, statistiche sufficienti, minimali e complete, metodo dei momenti, stimatore di massima verosimiglianza, intervallo di confidenza, verifica di ipotesi, esempi. 3) Analisi di modelli.

#### Testi

- Calcolo delle probabilità (Sheldon Ross) - Esercizi facoltativi caricati sul Team del corso - dispense reperibili dal Team del corso

#### Bibliografia di riferimento

- Calcolo delle probabilità (Sheldon Ross) - Esercizi facoltativi caricati sul Team del corso - dispense reperibili dal Team del corso

#### Modalità erogazione

Preferibilmente in presenza

#### Modalità di valutazione

La prova scritta verterà su esercizi (durata prevista: 2 ore), mentre l'orale su un argomento a scelta e domande di teoria relative a quanto visto in classe.

### English

#### Prerequisites

Basic analysis/calculus courses

#### Programme

1) Elements of basic probability: combinatorics, axioms of probability, conditional probability and independence, random variables (discrete and continuous) with main distributions, limit theorems, examples. 2) Elements of Statistics: random sampling, definition of statistical model and statistics, sufficient/minimal/complete statistics, moment method, maximal likelihood estimators, confidence interval, hypothesis testing, examples. 3) Analysis of specific models.

#### Reference books

- Calcolo delle probabilità (Sheldon Ross) - Recommended exercises on the Team of the course - Other written material can be found on the Team of the course

#### Reference bibliography

- Calcolo delle probabilità (Sheldon Ross) - Recommended exercises on the Team of the course - Other written material can be found on the Team of the course

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410620 - ME440 - PROBABILITÀ, STATISTICA E MODELLI

**Docente:** SCOPPOLA ELISABETTA

### Italiano

## Prerequisiti

Conoscenze di base di analisi

## Programma

Parte II Modelli matematici. Equazioni alle differenze. Punti di equilibrio, stabilità. Mappa logistica e biforcazioni. Cicli. Esempi. Modelli di meccanica statistica: modello di Ising, percolazione e random cluster model. Modello di Curie-Weiss e metastabilità. Markov Chain Monte Carlo.

## Testi

S.Elaydi: An introduction to difference equations - Springer S.Freidli and Y.Velenik : Statistical Mechanics of Lattice Systems - A concrete mathematical introduction. 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 in presenza (con possibilità di seguire su Teams)

## Modalità di valutazione

Esame scritto e orale. La prova scritta consiste in esercizi simili a quelli svolti durante le lezioni. Nella prova orale lo studente può presentare l'approfondimento di un tema a scelta tra quelli affrontati nel corso.

## English

### Prerequisites

Basic notions of analysis

### Programme

Part II Mathematical models. Difference equations. Equilibria, stability. Logistic map, bifurcations. Cycles. Examples. Statistical Mechanics models: Ising model, percolation and random cluster model. Curie-Weiss model and metastability. Markov Chain Monte Carlo.

### Reference books

S.Elaydi: An introduction to difference equations - Springer S.Freidli and Y.Velenik : Statistical Mechanics of Lattice Systems - A concrete mathematical introduction. 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

-

## 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

-

## 20410627 - TN410 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEI NUMERI

**Docente:** PAPPALARDI FRANCESCO

## Italiano

### Prerequisiti

AL110. E' utile familiarità con il linguaggio matematico con speciale riguardo all'algebra di base

### Programma

Divisione, fattorizzazione, alcune proprietà elementari dei numeri primi, alcuni risultati e problemi riguardanti i primi. Funzioni aritmetiche: La funzione numero di divisori. La funzione di Moebius. La funzione di Eulero. La convoluzione Dirichlet. Congruenze: Sistemi Completi di residui, alcuni Congruenze interessanti, alcune congruenze lineari, congruenze polinomiali, radici primitive, il teorema di Gauss. RESIDUI Quadratici: i simboli di Legendre. Reciprocità quadratica. I simboli di Jacobi. La distribuzione dei residui quadratici. Somme di quadrati di interi: somme di due quadrati. Numero di rappresentazioni. Somme di quattro quadrati. Somme di tre quadrati. TEORIA ELEMENTARE DEI NUMERI PRIMI: il teorema di Euclide rivisitato. La funzione Von Mangoldt. Teorema di Tchebycheff. Alcuni risultati di Mertens

### Testi

Chen, W; ELEMENTARY NUMBER THEORY. <https://rutherglen.science.mq.edu.au/wchen/Inentfolder/Inent.html> Chowdhury, F.; Chowdhury, M. R. Essentials of Number Theory. Pi Publications, Dhaka, Bangladesh, 2005. ISBN 984-32-2836-7 Hardy, G. H.; Wright, E. M. An introduction to the theory of numbers. Fifth edition. The Clarendon Press, Oxford University Press, New York, 1979. xvi+426 pp. ISBN: 0-19-853170-2; 0-19-853171-0 Davenport, H. Aritmetica superiore. Un'introduzione alla teoria dei numeri. Editore: Zanichelli, 1994. 199 pp. ISBN: 8808091546 Gioia, A. A. The theory of numbers. An introduction. Reprint of the 1970 original. Dover Publications, Inc., Mineola, NY, 2001. xii+207 pp. ISBN: 0-486-41449-3 Rosen, K. H. Elementary number theory and its applications. Fourth edition. Addison-Wesley, Reading, MA, 2000. xviii+638 pp. ISBN: 0-201-87073-8 Tattersall, J. J. Elementary number theory in nine chapters. Cambridge University Press, Cambridge, 1999. viii+407 pp. ISBN: 0-521-58531-7

### Bibliografia di riferimento

Gioia, A. A. The theory of numbers. An introduction. Reprint of the 1970 original. Dover Publications, Inc., Mineola, NY, 2001. xii+207

pp. ISBN: 0-486-41449-3 Rosen, K. H. Elementary number theory and its applications. Fourth edition. Addison-Wesley, Reading, MA, 2000. xviii+638 pp. ISBN: 0-201-87073-8 Tattersall, J. J. Elementary number theory in nine chapters. Cambridge University Press, Cambridge, 1999. viii+407 pp. ISBN: 0-521-58531-7

### Modalità erogazione

60 ore in presenza

### Modalità di valutazione

scritto di due ore con esercizi pratici e teorici

### English

#### Prerequisites

AL110. It is auspicious to be able to use mathematical notions especially that of basic algebra

#### Programme

Division, Factorization, Some Elementary Properties of Primes, Some Results and Problems Concerning Primes. ARITHMETIC FUNCTIONS: The Divisor Function. The Moebius Function. The Euler Function. Dirichlet Convolution CONGRUENCES: Sets of Residues, Some Interesting Congruences, Some Linear Congruences, Some Polynomial Congruences, Primitive Roots, the Theorem of Gauss. QUADRATIC RESIDUES: The Legendre Symbol. Quadratic Reciprocity. The Jacobi Symbol. The Distribution of Quadratic Residues. SUMS OF INTEGER SQUARES: Sums of Two Squares. Number of Representations. Sums of Four Squares. Sums of Three Squares. ELEMENTARY PRIME NUMBER THEORY: Euclid's Theorem Revisited. The Von Mangoldt Function. Tchebycheff's Theorem. Some Results of Mertens

#### Reference books

Chen, W; ELEMENTARY NUMBER THEORY. <https://rutherglen.science.mq.edu.au/wchen/lnentfolder/lnent.html> Chowdhury, F.; Chowdhury, M. R. Essentials of Number Theory. Pi Publications, Dhaka, Bangladesh, 2005. ISBN 984-32-2836-7 Hardy, G. H.; Wright, E. M. An introduction to the theory of numbers. Fifth edition. The Clarendon Press, Oxford University Press, New York, 1979. xvi+426 pp. ISBN: 0-19-853170-2; 0-19-853171-0 Davenport, H. Aritmetica superiore. Un'introduzione alla teoria dei numeri. Editore: Zanichelli, 1994. 199 pp. ISBN: 8808091546 Gioia, A. A. The theory of numbers. An introduction. Reprint of the 1970 original. Dover Publications, Inc., Mineola, NY, 2001. xii+207 pp. ISBN: 0-486-41449-3 Rosen, K. H. Elementary number theory and its applications. Fourth edition. Addison-Wesley, Reading, MA, 2000. xviii+638 pp. ISBN: 0-201-87073-8 Tattersall, J. J. Elementary number theory in nine chapters. Cambridge University Press, Cambridge, 1999. viii+407 pp. ISBN: 0-521-58531-7

#### Reference bibliography

Gioia, A. A. The theory of numbers. An introduction. Reprint of the 1970 original. Dover Publications, Inc., Mineola, NY, 2001. xii+207 pp. ISBN: 0-486-41449-3 Rosen, K. H. Elementary number theory and its applications. Fourth edition. Addison-Wesley, Reading, MA, 2000. xviii+638 pp. ISBN: 0-201-87073-8 Tattersall, J. J. Elementary number theory in nine chapters. Cambridge University Press, Cambridge, 1999. viii+407 pp. ISBN: 0-521-58531-7

#### Study modes

-

#### Exam modes

-