

# DIDATTICA EROGATA 2025/2026

## Fisica (LM-17 R)

Dipartimento: MATEMATICA E FISICA

Codice CdS: 104655

### INSEGNAMENTI

#### Primo anno

#### Primo semestre

#### 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA ( - FIS/03 - 8 CFU - 80 ore - ITA )

*Curricula: Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GALLO PAOLA	60	Carico didattico	N0
LUPI LAURA	20	Affidamento a titolo gratuito	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R N0 GALLO PAOLA	60	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R N0 LUPI LAURA	20	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R N0 GALLO PAOLA	60	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 R N0 LUPI LAURA	20	N0

#### 20401904 - FISICA TEORICA I ( - FIS/02 - 8 CFU - 68 ore - ITA )

*Curricula: Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DEGRASSI GIUSEPPE	68	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0
<b>Mutuato da:</b> 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	68	N0

#### 20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI ( - FIS/01 - 8 CFU - 80 ore - ITA )

*Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI MICCO BIAGIO	64	Carico didattico	
ORESTANO DOMIZIA	16	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 R ORESTANO DOMIZIA	16	

## Secondo semestre

### 20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LA FRANCA FABIO	50	Carico didattico	N0
RICCI FEDERICA	10	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20401878 ASTROFISICA EXTRAGALATTICA in Fisica LM-17 R N0 LA FRANCA FABIO	50	
<b>Mutuato da:</b> 20401878 ASTROFISICA EXTRAGALATTICA in Fisica LM-17 R N0 RICCI FEDERICA	10	

### 20410041 - ASTROFISICA GENERALE ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BIANCHI STEFANO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410041 ASTROFISICA GENERALE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	

### 20402214 - ASTROFISICA STELLARE ( - FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402214 ASTROFISICA STELLARE in Fisica LM-17 R N0		

### 20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA ( - FIS/02 - 6 CFU - 52 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCESCHINI ROBERTO	34	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 R N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0

**20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA ( - FIS/08 - 8 CFU - 64 ore - ITA )**

*Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	48	Bando	

**20410590 - DIDATTICA DELLA FISICA ( - FIS/08 - 6 CFU - 64 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali*

**Mutuazioni:**

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

**20410503 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA ( - MAT/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410456 MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 R MAGRONE PAOLA	60	
<b>Fruito da:</b> 20410456 MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 R MAGRONE PAOLA	60	

**20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA ( - FIS/05 - 6 CFU - 50 ore - ITA )**

*Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCIA DARIO	20	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R		
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R		
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R		
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R FRANCIA DARIO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R		

**20410710 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture ( - FIS/03 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica Sperimentale della Materia*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DE SETA MONICA	36	Carico didattico	
DI GASPARE LUCIANA	36	Carico didattico	

**20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTITA MARCELLO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410879 Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	60	

**20410711 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410710 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture in Fisica LM-17 R DE SETA MONICA	48	
<b>Fruito da:</b> 20410710 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture in Fisica LM-17 R DI GASPARE LUCIANA	48	
<b>Fruito da:</b> 20410710 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture in Fisica LM-17 R DE SETA MONICA	48	
<b>Fruito da:</b> 20410710 Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture in Fisica LM-17 R DI GASPARE LUCIANA	48	

**20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia ( - FIS/06 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTITA MARCELLO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410879 Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	60	

**20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SALAMANNA GIUSEPPE	32	Carico didattico	
PETRUCCI FABRIZIO	16	Carico didattico	

**20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SALAMANNA GIUSEPPE	32	Carico didattico	
PETRUCCI FABRIZIO	16	Carico didattico	

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

*Curricula: Fisica Teorica e Computazionale della Materia*

**Mutuazioni:**

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

### 20410426 - IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO ( - INF/01 - 6 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Mutuazioni:**

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

### 20402218 - FISICA TEORICA II ( - FIS/02 - 6 CFU - 52 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DEGRASSI GIUSEPPE	34	Carico didattico	N0
MELONI DAVIDE	18	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	34	
<b>Mutuato da:</b> 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 R N0 MELONI DAVIDE	18	
<b>Mutuato da:</b> 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 R N0 DEGRASSI GIUSEPPE	34	
<b>Mutuato da:</b> 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 R N0 MELONI DAVIDE	18	

### 20410042 - FISICA TERRESTRE ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTINELLI ELENA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 R PETTINELLI ELENA	48	

### 20411008 - Introduzione alla Teoria del Funzionale Densità: principi e pratica ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Teorica e Computazionale della Materia

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

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

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

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

**Curricula:** Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

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

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Fisica LM-17 R FRANCESCHINI ROBERTO	40	
<b>Mutuato da:</b> 20410429 FS510 - METODO MONTECARLO in Fisica LM-17 R BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	20	

### 20430010 - Metodi Fisici per i Beni Culturali ( - FIS/07 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Sperimentale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SODO ARMIDA	28	Carico didattico	
SCHIRRIPA SPAGNOLO GIUSEPPE	20	Carico didattico	

### 20410438 - MF410 - FINANZA COMPUTAZIONALE ( - SECS-S/06 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Mutuazioni:**

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

### 20410719 - Sismologia generale ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410719 Sismologia generale in Fisica LM-17 R		

### 20410717 - Teorie Quantistiche della Materia ( - FIS/03 - 8 CFU - 80 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Sperimentale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RAIMONDI ROBERTO	80	Carico didattico	

### 20410718 - Teorie Quantistiche della Materia - Mod. A ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410717 Teorie Quantistiche della Materia in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	60	
<b>Fruito da:</b> 20410717 Teorie Quantistiche della Materia in Fisica LM-17 R RAIMONDI ROBERTO	60	

## Secondo anno

### Primo semestre

### 20402155 - MISURE ASTROFISICHE ( - FIS/05 - 6 CFU - 70 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica

Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LA FRANCA FABIO	30	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R N0 LA FRANCA FABIO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R N0		
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R N0 LA FRANCA FABIO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R N0		
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R N0 LA FRANCA FABIO	30	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 R N0		

**20410891 - SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE ( - GEO/10 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410891 SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R CAMMARANO FABIO	48	

**20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 R N0		
<b>Mutuato da:</b> 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 R N0		
<b>Mutuato da:</b> 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 R N0		

**20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA' ( - FIS/02 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCIA DARIO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

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

**20410610 - Terremoti e Deformazione crostale ( - GEO/10 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R		
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R		
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R		
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R		
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R		
Mutuato da: 20410610 Terremoti e Deformazione crostale in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R		

### 20410901 - VULCANO-TETTONICA ( - GEO/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	
Mutuato da: 20410901 VULCANO-TETTONICA in Geologia e Tutela dell'Ambiente LM-74 R ACOCELLA VALERIO	48	

### 20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI ( - FIS/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 R N0		
Mutuato da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 R N0		
Mutuato da: 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 R N0		

### 20410885 - Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410885 Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica in Fisica LM-17 R		
Mutuato da: 20410885 Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica in Fisica LM-17 R		
Mutuato da: 20410885 Applicazioni della fisica delle particelle alla terapia medica in Fisica LM-17 R		

### 20402143 - COSMOLOGIA ( - FIS/05 - 8 CFU - 64 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia

### 20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI ( - FIS/02 - 8 CFU - 64 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TARANTINO CECILIA	64	Carico didattico	N0

### 20410427 - IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE ( - INF/01 - 6 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Mutuazioni:**

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

### 20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BIANCHI STEFANO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 R BIANCHI STEFANO	60	N0

### 20410506 - COSMOLOGIA ( - FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0	48	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0	48	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0	48	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0	48	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 R N0	48	

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

**Curricula:** Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Mutuazioni:**

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

### 20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE ( - FIS/04,FIS/01 - 8 CFU - 82 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI MICCO BIAGIO	38	Carico didattico	
MARI STEFANO MARIA	35	Carico didattico	
Da assegnare	9	Bando	

### 20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza ( - FIS/08 - 6 CFU - 52 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	23	Bando	
Da assegnare	23	Bando	
Da assegnare	23	Bando	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R		
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R		
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 R		

### 20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GALLO PAOLA	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 R GALLO PAOLA	60	

### 20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI ( - FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R 1		
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R 1		
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 R 1		

### 20402259 - FISICA DEL CLIMA ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTITA MARCELLO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	N0

### 20401425 - MECCANICA STATISTICA ( - FIS/02 - 8 CFU - 80 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LUPI LAURA	80	Carico didattico	

### 20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA ( - FIS/03 - 9 CFU - 84 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica Sperimentale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RUOCCO ALESSANDRO	84	Carico didattico	

**20402259 - FISICA DEL CLIMA ( - FIS/06 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTITA MARCELLO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 R Petitta Marcello	48	N0

**20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 R N0		
<b>Mutuato da:</b> 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 R N0		
<b>Mutuato da:</b> 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 R N0		

**20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti ( - FIS/06 - 8 CFU - 82 ore - ITA )**

**Curricula:** Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	82	Carico didattico	

**20410584 - RETI COMPLESSE ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Mutuazioni:**

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

**20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	Carico didattico	
SALAMANNA GIUSEPPE	24	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R SALAMANNA GIUSEPPE	24	

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R SALAMANNA GIUSEPPE	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 R SALAMANNA GIUSEPPE	24	

### 20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
OFFI FRANCESCO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 R OFFI FRANCESCO	48	

### 20410884 - Fondi radioattivi nelle ricerche di fisica fondamentale e radioattività' ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410884 Fondi radioattivi nelle ricerche di fisica fondamentale e radioattività' in Fisica LM-17 R		
<b>Mutuato da:</b> 20410884 Fondi radioattivi nelle ricerche di fisica fondamentale e radioattività' in Fisica LM-17 R		
<b>Mutuato da:</b> 20410884 Fondi radioattivi nelle ricerche di fisica fondamentale e radioattività' in Fisica LM-17 R		

### 20410097 - FOTONICA QUANTISTICA ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali - Fisica Teorica e Computazionale della Materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GIANANI ILARIA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 R GIANANI ILARIA	48	

### 20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA ( - BIO/13 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20440000 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 R	48	
<b>Fruito da:</b> 20440000 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 R ROSSI MARIANNA NICOLETTA	48	

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20440000 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 R RUZZIER ENRICO	48	
<b>Fruito da:</b> 20440000 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 R UDROIU ION	48	

### 20402354 - MECCANICA STATISTICA ( - FIS/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattica e Comunicazione scientifica - Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti - Fisica Sperimentale della Materia - Fisica Sperimentale delle Particelle Elementari - Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 R LUPI LAURA	60	

## Secondo semestre

### 20410084 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD A ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

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

### 20410085 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B ( - MAT/07 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

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

### 20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA ( - FIS/02 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410023 ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA in Fisica L-30 R LUBICZ VITTORIO	23	
<b>Mutuato da:</b> 20410023 ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA in Fisica L-30 R TARANTINO CECILIA	7	

### 20410721 - Esplorazione spaziale e Fisica planetaria ( - FIS/06 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410721 Esplorazione spaziale e Fisica planetaria in Fisica L-30 R PETTINELLI ELENA	24	

### 20410499 - Principi di Astrofisica ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 R LA FRANCA FABIO	40	

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410499 Principi di Astrofisica in Fisica L-30 R MATT GIORGIO	20	

### 20410018 - PRINCIPI DI ASTROFISICA-MODULO A ( - FIS/05 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

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

### 20410614 - Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle ( - FIS/04 - 3 CFU - 24 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410614 Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle in Fisica L-30 R DI NARDO ROBERTO	24	

### 20410720 - Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici ( - FIS/06 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410720 Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici in Fisica L-30 R PETTINELLI ELENA	24	

### 20410498 - Principi di Materia Condensata ( - FIS/03 - 3 CFU - 30 ore - ITA )

**Curricula:** Didattica e Comunicazione scientifica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410498 Principi di Materia Condensata in Fisica L-30 R GALLO PAOLA	20	
<b>Mutuato da:</b> 20410498 Principi di Materia Condensata in Fisica L-30 R DE SETA MONICA	10	

## INCARICHI DIDATTICI DEL CORSO DI LAUREA

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
BIANCHI STEFANO	120	Carico didattico	60	20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE
		Carico didattico	60	20410041 - ASTROFISICA GENERALE
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	44	Carico didattico	24	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Carico didattico	20	20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO
DE SETA MONICA	36	Carico didattico	36	20410710 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture
DEGRASSI GIUSEPPE	102	Carico didattico	68	20401904 - FISICA TEORICA I
		Carico didattico	34	20402218 - FISICA TEORICA II
DI GASPARE LUCIANA	36	Carico didattico	36	20410710 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture
DI MICCO BIAGIO	102	Carico didattico	64	20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
		Carico didattico	38	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
		Carico didattico	38	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
FRANCESCHINI ROBERTO	92	Carico didattico	34	20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA
		Carico didattico	40	20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO
FRANCIA DARIO	68	Carico didattico	20	20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA
		Carico didattico	48	20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'
GALLO PAOLA	120	Carico didattico	60	20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE
		Carico didattico	60	20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA
GIANANI ILARIA	48	Carico didattico	48	20410097 - FOTONICA QUANTISTICA
LA FRANCA FABIO	80	Carico didattico	50	20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA
		Carico didattico	30	20402155 - MISURE ASTROFISICHE
LAURO SEBASTIAN EMANUEL	82	Carico didattico	82	20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti
LUPI LAURA	100	Affidamento a titolo gratuito	20	20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA
		Carico didattico	80	20401425 - MECCANICA STATISTICA
MARI STEFANO MARIA	35	Carico didattico	35	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
MELONI DAVIDE	18	Carico didattico	18	20402218 - FISICA TEORICA II
OFFI FRANCESCO	48	Carico didattico	48	20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE
ORESTANO DOMIZIA	16	Carico didattico	16	20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
PETITTA MARCELLO	108	Carico didattico	48	20402259 - FISICA DEL CLIMA
		Carico didattico	60	20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia
PETRUCCI FABRIZIO	32	Carico didattico	16	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
		Carico didattico	16	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
PETTINELLI ELENA	48	Carico didattico	48	20410042 - FISICA TERRESTRE
RAIMONDI ROBERTO	80	Carico didattico	80	20410717 - Teorie Quantistiche della Materia
RICCI FEDERICA	10	Carico didattico	10	20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA
RUOCCO ALESSANDRO	84	Carico didattico	84	20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA
SALAMANNA GIUSEPPE	88	Carico didattico	24	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Carico didattico	32	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
		Carico didattico	32	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
SCHIRRIPA SPAGNOLO GIUSEPPE	20	Carico didattico	20	20430010 - Metodi Fisici per i Beni Culturali
SODO ARMIDA	28	Carico didattico	28	20430010 - Metodi Fisici per i Beni Culturali
TARANTINO CECILIA	64	Carico didattico	64	20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
DOCENTE NON DEFINITO	302	Bando	48	20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA
		Bando	23	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
		Bando	23	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
		Bando	23	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
		Bando	9	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
<b>Totale ore</b>	<b>2011</b>			

## CONTENUTI DIDATTICI

### 20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE

**Docente:** BIANCHI STEFANO

#### Italiano

##### Prerequisiti

Non sono richieste specifiche conoscenze pregresse.

##### Programma

OGGETTI COMPATTI: NANE BIANCHE, STELLE DI NEUTRONI. LIMITE DI CHANDRASEKHAR, PULSAR, BUCHI NERI  
ACCRESCIMENTO: TEORIA, LIMITE DI EDDINGTON, DISCHI DI ACCRESCIMENTO BINARIE X: FENOMENOLOGIA E  
CLASSIFICAZIONE, VARIABILI CATACLISMICHE, BINARIE X DI PICCOLA E GRANDE MASSA, CANDIDATI BUCHI NERI NUCLEI  
GALATTICI ATTIVI: FENOMENOLOGIA E CLASSIFICAZIONE, EMISSIONE IN BANDA X E GAMMA, GETTI, MOTI SUPERLUMINALI  
GAMMA RAY BURST: FENOMENOLOGIA, ORIGINE E MECCANISMI DI EMISSIONE AMMASSI DI GALASSIE: EMISSIONE X DAL  
MEZZO INTERGALATTICO, COOLING FLOW RAGGI COSMICI: COMPOSIZIONE, SPETTRO ED ORIGINE, RESTI DI SUPERNOVA,  
RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA.

##### Testi

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR  
STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS  
[WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES,  
WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

##### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

##### Modalità erogazione

Lezioni frontali con proiezione di slide e approfondimenti, seguite da domande e risposte.

##### Modalità di valutazione

Prova orale sugli argomenti del corso, con discussione approfondita e corredata da formule e grafici in caso di necessita'.

#### English

##### Prerequisites

No prior knowledge is required.

##### Programme

COMPACT OBJECTS: WHITE DWARFS, NEUTRON STARS, THE CHANDRASEKHAR LIMIT, PULSARS, BLACK HOLES  
ACCRETION: THEORY, EDDINGTON LIMIT, ACCRETION DISKS X-RAY BINARIES: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY,  
CATACLYSMIC VARIABLES, LOW-MASS AND HIGH-MASS X-RAY BINARIES, BLACK HOLE CANDIDATES ACTIVE GALACTIC  
NUCLEI: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY, X-RAY AND GAMMA-RAY EMISSION, JETS, SUPERLUMINAL MOTIONS  
GAMMA RAY BURSTS: PHENOMENOLOGY, ORIGIN, EMISSION MECHANISMS CLUSTER OF GALAXIES: EMISSION FROM THE  
INTERGALACTIC MEDIUM, COOLING FLOWS COSMIC RAYS: COMPOSITION, SPECTRUM AND ORIGIN, SUPERNOVA  
REMNANTS, ULTRA HIGH ENERGY COSMIC RAYS

##### Reference books

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR  
STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS  
[WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES,  
WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

##### Reference bibliography

-

##### Study modes

-

##### Exam modes

-

### 20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE

**Canale:**N0

**Docente:** BIANCHI STEFANO

#### Italiano

##### Prerequisiti

Non sono richieste specifiche conoscenze pregresse.

## Programma

OGGETTI COMPATTI: NANE BIANCHE, STELLE DI NEUTRONI. LIMITE DI CHANDRASEKHAR, PULSAR, BUCHI NERI  
ACCRESCIMENTO: TEORIA, LIMITE DI EDDINGTON, DISCHI DI ACCRESCIMENTO BINARIE X: FENOMENOLOGIA E  
CLASSIFICAZIONE, VARIABILI CATACLISMICHE, BINARIE X DI PICCOLA E GRANDE MASSA, CANDIDATI BUCHI NERI NUCLEI  
GALATTICI ATTIVI: FENOMENOLOGIA E CLASSIFICAZIONE, EMISSIONE IN BANDA X E GAMMA, GETTI, MOTI SUPERLUMINALI  
GAMMA RAY BURST: FENOMENOLOGIA, ORIGINE E MECCANISMI DI EMISSIONE AMMASSI DI GALASSIE: EMISSIONE X DAL  
MEZZO INTERGALATTICO, COOLING FLOW RAGGI COSMICI: COMPOSIZIONE, SPETTRO ED ORIGINE, RESTI DI SUPERNOVA,  
RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA.

## Testi

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR  
STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS  
[WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES,  
WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Testi da definire

## Modalità di valutazione

Prova orale sugli argomenti del corso, con discussione approfondita e corredata da formule e grafici in caso di necessita'.

## English

## Prerequisites

No prior knowledge is required.

## Programme

COMPACT OBJECTS: WHITE DWARFS, NEUTRON STARS, THE CHANDRASEKHAR LIMIT, PULSARS, BLACK HOLES  
ACCRETION: THEORY, EDDINGTON LIMIT, ACCRETION DISKS X-RAY BINARIES: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY,  
CATACLYSMIC VARIABLES, LOW-MASS AND HIGH-MASS X-RAY BINARIES, BLACK HOLE CANDIDATES ACTIVE GALACTIC  
NUCLEI: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY, X-RAY AND GAMMA-RAY EMISSION, JETS, SUPERLUMINAL MOTIONS  
GAMMA RAY BURSTS: PHENOMENOLOGY, ORIGIN, EMISSION MECHANISMS CLUSTER OF GALAXIES: EMISSION FROM THE  
INTERGALACTIC MEDIUM, COOLING FLOWS COSMIC RAYS: COMPOSITION, SPECTRUM AND ORIGIN, SUPERNOVA  
REMNANTS, ULTRA HIGH ENERGY COSMIC RAYS

## Reference books

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR  
STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS  
[WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES,  
WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA

**Docente:** LA FRANCA FABIO

## 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

-

## 20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA

Canale:N0

Docente: RICCI Federica

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

si veda la scheda del docente titolare

### Testi

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

si veda la scheda del docente titolare

### Modalità di valutazione

si veda la scheda del docente titolare

## English

### Prerequisites

none

### Programme

see the profile of the lecturer

### Reference books

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA

Canale:N0

Docente: LA FRANCA FABIO

## Italiano

## Prerequisiti

nessuno

## Programma

Programma 1. Cenni di evoluzione stellare 2. Cenni sulla strumentazione 3. La Via Lattea 4. Il buco nero centrale 5. Classificazione delle galassie 6. Potenziali delle galassie, distribuzione di massa e andamento delle isofote 7. Le curve di rotazione 8. Relazioni di scala nelle galassie 9. Spettroscopia: gas freddo, gas caldo e gas molecolare 10. Misure spettroscopiche di velocità, temperatura e densità 11. Gli AGN: motore e struttura centrale 12. La misura della massa dei black holes 13. Gli AGN: evoluzione 14. Coevoluzione AGN/galassie 15. Misura e storia delle Star Formation and Accretion Rates 16. Misura e riproduzione di: fondi cosmici, funzioni di luminosità e di massa 17. La metallicità 18. Gli ammassi di galassie

## Testi

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni alla lavagna con l'ausilio di proiezioni di immagini, grafici e filmati. Svolgimento di alcuni esercizi.

## Modalità di valutazione

Il candidato deve esporre un argomento a sua scelta inquadrandolo scientificamente, mettendo in evidenza gli aspetti fisici più rilevanti e possibilmente dimostrando come si giunge alle relazioni fisiche che lo descrivono. In seguito la commissione sceglie altri due argomenti da far esporre sempre nella stessa maniera al candidato. Verranno valutati la correttezza, la completezza, e lo spirito critico delle esposizioni.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

1. Principles of Stellar Evolution 2. Principles of Observational Astronomy 3. The Milky Way 4. The central Black Hole of the Milky Way 5. Galaxy classification 6. Mass distribution, potentials, and isophotes 7. Rotation curves 8. Scaling relations in galaxies 9. Astrophysical Spectroscopy: cold gas, hot gas and molecular gas 10. Velocity, temperature and density measures 11. Active Galactic Nuclei: the structure and the central engine 12. The measure of the supermassive black hole masses 13. The evolution of the Active Galactic Nuclei 14. AGN/galaxy coevolution 15. Measure and history of the Star Formation Rate of galaxies 16. Luminosity and mass functions evolution of AGN and galaxies. Synthesis of the cosmic backgrounds. 17. Metallicity 18. Clusters of galaxies

### Reference books

L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410041 - ASTROFISICA GENERALE

**Docente:** BIANCHI STEFANO

## Italiano

### Prerequisiti

Non è necessaria una specifica conoscenza pregressa.

### Programma

Processi Radiativi in Astrofisica: Equazione del Trasporto, Bremsstrahlung, Sincrotrone, Effetto Compton Inverso, Produzione di Coppie, Effetto Cherenkov Interazioni Nucleari, Righe Nucleari Spettroscopia: Notazione, Livelli di Energia, Regole di Selezione, Bilancio di Ionizzazione, Righe di Emissione e Assorbimento, Misure di Densità e Temperatura, Polvere ed Estinzione Spettroscopia Molecolare Altri Messaggeri in Astrofisica: Onde Gravitazionali, Neutrini Accelerazione di Particelle: Meccanismi di Fermi, Onde d'urto

### Testi

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY] G. Ghisellini "Radiative Processes in High Energy Astrophysics", 2013

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali con proiezione di slide e approfondimenti, seguite da domande e risposte.

### Modalità di valutazione

Prova orale sugli argomenti del corso, con discussione approfondita e corredata da formule e grafici in caso di necessita'.

### English

#### Prerequisites

No prior knowledge is required.

#### Programme

Radiative processes in Astrophysics: Transfer Equation, Bremsstrahlung, Synchrotron Emission, Inverse Compton Effect, Pairs Production, Cherenkov Effect Nuclear Interactions, Nuclear Lines Spectroscopy: Spectroscopic Notation, Energy Levels, Selection Rules, Ionization Balance, Emission and Absorption Lines, Density and Temperature Measures, Dust and Extinction Molecular Spectroscopy Other Messengers in Astrophysics: Gravitational Waves, Neutrinos Particle Acceleration: Fermi Mechanisms, Shocks

#### Reference books

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY] G. Ghisellini "Radiative Processes in High Energy Astrophysics", 2013

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410084 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD 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

Testi da definire

#### 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 three-dimensional.

#### Reference books

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

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410085 - COMPLEMENTI DI MECCANICA ANALITICA - MOD. B

**Docente:** MARCELLI GIOVANNA

### 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. Trottola di Lagrange. Sistemi ergodici, caotici e mescolanti. Variabili azione angolo: il teorema di Arnold-Liouville. Teoria delle perturbazioni in meccanica classica: precessione del perielio di Mercurio e cenni alla teoria KAM.

#### Testi

.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

Testi da definire

#### 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 rigid body dynamics. Integrability of the rigid body with a point not subjected to forces. Lagrange spinning top. Ergodic, chaotic and mixing systems. Action angle variables: the theorem of Arnold-Liouville. Perturbation theory in classical mechanics: precession of the perihelion of Mercury and hints at the KAM theory.

#### Reference books

.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

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA

**Docente:** FRANCESCHINI ROBERTO

### 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

-

## 20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA

Canale:N0

Docente: FRANCESCHINI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza dell'algebra lineare. Conoscenza ed esperienza pratica con un linguaggio di programmazione per computer.

### Programma

Teoria dei Gruppi (CA)  $SU(2)$  e  $SU(3)$  La forma di Killing Algebre di Lie semplici Rappresentazioni Radici semplici e la matrice di Cartan Le algebre "classiche" Le algebre "eccezionali" Operatore di Casimir e la formula di Freudenthal Il gruppo di Weyl La formula della dimensione di Weyl Riduzione del prodotto di rappresentazioni Sub-algebre Regole di decomposizione Metodi Numerici Probabilità e variabili random Richiami su Misure, incertezze e loro propagazione Richiami su Fit di una curva, minimi quadrati, ottimizzazione Integrazione numerica classica, velocità di convergenza Integrazione MC, media e varianza Strategie di campionamento Applicazioni Propagazione delle incertezze Note Generazione di dati secondo una distribuzione Corrispondenza tra argomenti e sezioni dei libri su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

### Testi

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (disponibile presso Roma TRE BAST Sede Centrale e presso la pagina dell'autore ) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre materiale fornito a lezione ed elencato sul web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali in aula e in laboratorio di calcolo. Esercitazioni in aula, in laboratorio di calcolo e a casa.

### Modalità di valutazione

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale. Durante la prova scritta si richiede di scrivere un programma per computer per risolvere un problema di teoria dei gruppi o di metodi numerici tra quelli in programma. L'orale verte su tutto il programma svolto a lezione e su una tesina. Nell'esame orale si richiede di enunciare e dimostrare proprietà delle algebre di Lie e loro rappresentazioni, come illustrate a lezione, o di esporre un metodo numerico tra quelli in programma descrivendone finalità e proprietà. La tesina sarà su un argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte su argomenti inerenti la prima parte del corso (teoria dei gruppi) o la seconda parte del corso (metodi numerici). Gli argomenti possibili per la tesina sono pubblicati ogni anno su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## English

## Prerequisites

Linear algebra. Knowledge and some experience with any computer programming language.

## Programme

Group Theory (CA)  $SU(2)$  and  $SU(3)$  The Killing Form Simple Lie Algebras Representations Simple Roots and the Cartan Matrix The Classical Lie Algebras The Exceptional Lie Algebras Casimir Operators and Freudenthal's Formula The Weyl Group Weyl's Dimension Formula Reducing Product Representations Subalgebras Branching Rules Numerical Methods Refresh on Probability and Random variables Refresh on Measurement, uncertainty and its propagation Refresh on Curve-fitting, least-squares, optimization Classical numerical integration, speed of convergence Integration MC (Mean, variance) Sampling Strategies Applications Propagation of uncertainties Generation according to a distribution Sections of the textbooks for each topic are listed on <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## Reference books

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (available at Roma TRE BAST Sede Centrale and from the author's web page ) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre readings supplied during class and listed on the web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA

Canale:N0

Docente: FRANCESCHINI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza dell'algebra lineare. Conoscenza ed esperienza pratica con un linguaggio di programmazione per computer.

### Programma

Teoria dei Gruppi (CA)  $SU(2)$  e  $SU(3)$  La forma di Killing Algebre di Lie semplici Rappresentazioni Radici semplici e la matrice di Cartan Le algebre "classiche" Le algebre "eccezionali" Operatore di Casimir e la formula di Freudenthal Il gruppo di Weyl La formula della dimensione di Weyl Riduzione del prodotto di rappresentazioni Sub-algebre Regole di decomposizione Metodi Numerici Probabilità e variabili random Richiami su Misure, incertezze e loro propagazione Richiami su Fit di una curva, minimi quadrati, ottimizzazione Integrazione numerica classica, velocità di convergenza Integrazione MC, media e varianza Strategie di campionamento Applicazioni Propagazione delle incertezze Note Generazione di dati secondo una distribuzione Corrispondenza tra argomenti e sezioni dei libri su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

### Testi

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (disponibile presso Roma TRE BAST Sede Centrale e presso la pagina dell'autore ) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre materiale fornito a lezione ed elencato sul web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali in aula e in laboratorio di calcolo. Esercitazioni in aula, in laboratorio di calcolo e a casa.

### Modalità di valutazione

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale. Durante la prova scritta si richiede di scrivere un programma per computer per risolvere un problema di teoria dei gruppi o di metodi numerici tra quelli in programma. L'orale verte su tutto il programma svolto a lezione e su una tesina. Nell'esame orale si richiede di enunciare e dimostrare proprietà delle algebre di Lie e loro rappresentazioni, come illustrate a lezione, o di esporre un metodo numerico tra quelli in programma descrivendone finalità e proprietà. La tesina sarà su un argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte su argomenti inerenti la prima parte del corso (teoria dei gruppi) o la seconda parte del corso (metodi numerici). Gli argomenti possibili per la tesina sono pubblicati ogni anno su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## English

### Prerequisites

Linear algebra. Knowledge and some experience with any computer programming language.

## Programme

Group Theory (CA)  $SU(2)$  and  $SU(3)$  The Killing Form Simple Lie Algebras Representations Simple Roots and the Cartan Matrix The Classical Lie Algebras The Exceptional Lie Algebras Casimir Operators and Freudenthal's Formula The Weyl Group Weyl's Dimension Formula Reducing Product Representations Subalgebras Branching Rules Numerical Methods Refresh on Probability and Random variables Refresh on Measurement, uncertainty and its propagation Refresh on Curve-fitting, least-squares, optimization Classical numerical integration, speed of convergence Integration MC (Mean, variance) Sampling Strategies Applications Propagation of uncertainties Generation according to a distribution Sections of the textbooks for each topic are listed on <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## Reference books

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (available at Roma TRE BAST Sede Centrale and from the author's web page ) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre readings supplied during class and listed on the web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410503 - 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

-

## 20410023 - ELEMENTI DI FISICA TEORICA CONTEMPORANEA

**Docente:** TARANTINO CECILIA

### Italiano

#### Prerequisiti

Non sono richieste specifiche conoscenze pregresse per questo corso, oltre alle conoscenze generali di fisica e matematica tipicamente possedute da uno studente del corso di laurea in fisica al secondo anno di corso.

#### Programma

1) Teoria della Relatività: La relatività ristretta. Lo spazio-tempo. Quadri vettori: velocità, impulso ed energia relativistiche. La relatività generale. 2) Meccanica quantistica: Crisi della fisica classica. I principi della meccanica quantistica. Equazione di Schrödinger e sistemi quantistici. Nuovi fenomeni, sviluppi e interpretazioni. 3) Particelle e campi: La teoria quantistica dei campi. I costituenti elementari della materia. Teoria delle forze. Il Modello Standard. Fisica oltre il Modello Standard 4) Gravità quantistica.

#### Testi

Dispense disponibili sul sito del corso

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso consiste in lezioni frontali supportate dall'utilizzo di videoproiettore. 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. Sito Moodle: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it/course/view.php?id=1116>

#### Modalità di valutazione

L'esame consiste in una presentazione con slides su di un argomento del programma scelto nell'ambito di un elenco predisposto dal docente e con questi preventivamente concordato. 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 specific previous knowledge is required for this course, besides the general knowledge of physics and mathematics typically held by a physics student at the second year of the course.

#### Programme

1) Theory of Relativity: Special Relativity. Space-time. Four-vectors: relativistic velocity, momentum and energy. General relativity. 2) Quantum mechanics: Crisis of classical physics. The principles of quantum mechanics. Schrödinger equation and quantum systems. New phenomena, developments and interpretations. 3) Particles and Fields: Quantum Field Theory. The elementary constituents of matter. Theory of forces. The Standard Model. Physics beyond the Standard Model. 4) Quantum gravity.

#### Reference books

Lecture notes available on the course website

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA

**Docente:** FRANZIA DARIO

### Italiano

#### Prerequisiti

Relatività Speciale. Elettromagnetismo.

## Programma

§I. Introduzione: inerzia e covarianza Relatività Galileiana e Relatività Speciale. Il principio di equivalenza. Motivazioni per la covarianza generale. Sistemi inerziali locali. §II. Spaziotempo dinamico: fondamenti della Relatività Generale Coordinate curvilinee. Vettori e tensori sotto trasformazioni generali di coordinate. Trasporto parallelo e simboli di Christoffel. Derivate covarianti e compatibilità metrica. Vettori covariantemente conservati e densità vettoriali conservate. Trasformazione dei simboli di Christoffel. Il teorema di Ricci. Geodetiche e loro limite newtoniano. Curve tipo-spazio, tipo-tempo e tipo-luce. Coordinate normali e sistemi inerziali locali. Derivazione covariante lungo una curva. Tensore di curvatura di Riemann. Proprietà algebriche. Identità Bianchi. Sistemi inerziali locali. Caratterizzazione degli spazi piatti. Deviazione geodetica. Azione di Einstein-Hilbert ed equazioni del moto. L'identità di Palatini. Costante cosmologica. Accoppiamento a materia non dinamica: identità di Bianchi contratta, tensore energia impulso della materia e conservazione covariante. Accoppiamento minimale a campi scalari ed elettromagnetici. §III. Approssimazione lineare e onde gravitazionali Motivazioni. Fluttuazioni dello spazio-tempo piatto: tensore di Riemann linearizzato e sua invarianza di gauge abeliana. Equazioni del moto: gauge di de Donder e onde gravitazionali. Confronto con la teoria di Maxwell. §IV. Isometrie e spazi massimamente simmetrici Simmetrie di tensori: invarianza di forma. Equazioni di Killing. Condizione di integrabilità e numero massimo di isometrie. La derivata di Lie. Vettori di Killing e leggi di conservazione. L'esempio dello spazio di Minkowski. Isometrie traslazionali. §V. La soluzione di Schwarzschild Metrica di Schwarzschild. Simmetria sferica e teorema di Birkhoff (senza dimostrazione). Vettori di Killing della metrica di Schwarzschild. Redshift gravitazionale.

## Testi

- Susskind L, Cabannes - Relatività Generale, (Raffaello Cortina Editore, 2024) - Rovelli C, Relatività Generale, (Adelphi, 2021).

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna

## Modalità di valutazione

Prove in itinere: due esoneri con domande a risposta aperta. Gli esoneri simulano in forma scritta lo svolgimento di un esame orale. Le domande sono formulate per punti, così da consentire agli studenti di sviluppare la loro risposta anche in assenza del feedback del docente. Vengono aggiunte domande segnalate come opzionali pensate per consentire per gli studenti di migliorare il livello degli elaborati. La valutazione dei compiti prevede una griglia di punteggio assegnata ad ogni punto, ma resta libera la discrezione del docente di valutare aspetti complessivi degli elaborati quali la padronanza complessiva della materia, la coerenza e la completezza del discorso e così via. Con la sufficienza ad entrambi gli esoneri si è esentati dalla prova orale. Esami orali: una domanda relativa al Modulo A

## English

### Prerequisites

Special Relativity. Electromagnetism.

### Programme

§I. Introduction: inertia and covariance Galilean Relativity and Special Relativity. The Equivalence Principle. Motivations for general covariance. Local inertial frames. §II. Dynamical spacetime: basics of General Relativity Curvilinear coordinates. Vectors and tensors under general coordinate transformations. Parallel transport and Christoffel symbols. Covariant derivatives and metric compatibility. Covariantly conserved vectors and conserved vector densities. Transformation of the Christoffel symbols. Ricci's theorem. Geodesics and their Newtonian limit. Time-like, null and space-like curves. Normal coordinates and local inertial frames. Covariant derivation along curves. Riemann curvature tensor. Algebraic properties. Bianchi identities. Local inertial frames. Characterisation of flat spaces. Geodesic deviation. Einstein-Hilbert action and equations of motion. The Palatini identity. Non-dynamical sources: contracted Bianchi identity, matter energy-momentum tensor and covariant conservation. Minimal coupling to scalar fields and to Maxwell fields. §III. Linear approximation and gravitational waves Motivations. Weak fluctuations over flat space-time: linearised Riemann tensor and its abelian gauge invariance. Equations of motion: de Donder gauge and gravitational waves. Comparing to Maxwell's theory. §IV. Isometries and maximally symmetric spaces Symmetries of tensors: form-invariance. Killing equations. Integrability condition and maximal number of isometries. The Lie derivative. Killing vectors and conservation laws. The example of Minkowski space. Translational isometries. §V. Basics of the Schwarzschild solution Schwarzschild metric. Spherical symmetry and Birkhoff's theorem (without proof). Killing vectors of Schwarzschild's metric. Gravitational redshift.

### Reference books

-Carroll S Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison-Wesley 2014/Cambridge University Press, 2019)  
-Dirac P A M General Theory of Relativity (Princeton University Press, 1996) -Hartle S Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity (Cambridge University Press, 2021) -Rovelli C, General Relativity - the Essentials, (Cambridge University Press, 2021).  
-Weinberg S, Gravitation and Cosmology - principles and applications of the general theory of relativity, (John Wiley & Sons, 1972).

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410721 - Esplorazione spaziale e Fisica planetaria

**Docente:** PETTINELLI ELENA

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Origine del sistema solare, pianeti e corpi minori. Storia dell'esplorazione spaziale con sonde automatiche. Le missioni Apollo e le prime misure geofisiche lunari. Sviluppo di radar per lo studio dei poli terrestri e marziani. Misure sismiche sulla Luna, Marte e Venere. Le missioni verso le lune ghiacciate di Giove. Il futuro delle missioni spaziali.

### Testi

materiale fornito dal docente

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

l'esame si svolge unicamente mediante un colloquio orale

### English

### Prerequisites

none

### Programme

Origin of the solar system, planets and minor bodies. History of space exploration with automatic probes. The Apollo missions and the first lunar geophysical measurements. Development of radars for the study of the terrestrial and Martian poles. Seismic measurements on the Moon, Mars and Venus. Missions to Jupiter's icy moons. The future of space missions.

### Reference books

material provided by the teacher

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE

**Docente:** GALLO PAOLA

### Italiano

### Prerequisiti

Nessun prerequisito

### Programma

1 - Richiami di Termodinamica e Meccanica Statistica. Funzioni termodinamiche estensive ed intensive. Condizioni di equilibrio. Trasformate di Legendre e potenziali termodinamici. Condizioni di stabilità delle fasi. Transizioni di fase e loro classificazione. Equazione di Van der Waals. Richiami della teoria degli ensembles statistici. Fluttuazioni. 2 - Forze fra atomi e ordine a corto raggio. Caratterizzazione dello stato liquido della materia. Caratterizzazione dei materiali soffici. Forze fra atomi e potenziali efficaci. Funzioni di distribuzione nel canonico e nel gran canonico. Funzione di distribuzione radiale e relazione con la termodinamica. Il fattore di struttura statico. Misura della struttura di un liquido con tecniche di scattering di raggi X e di neutroni. Fattori di struttura e funzioni di distribuzione radiale di miscele liquide e liquidi molecolari. Teoria del funzionale densità classico. Equazione di Ornstein-Zernike. Relazioni di chiusura per il funzionale di densità. 3 - Simulazione numerica di material liquida e sofficie Metodi di simulazione stocastici e deterministici. Metodo della Dinamica Molecolare. Algoritmi alla Verlet. Dinamica molecolare a temperatura e a pressione costante. Il metodo di simulazione Monte Carlo. Simulazione Monte Carlo in diversi ensemble. Metodi di simulazione di equilibrio delle fasi. Applicazione dei metodi Monte Carlo e Dinamica Molecolare ai liquidi complessi e ai materiali soffici. 4 - Dinamica dei liquidi e della materia sofficie Funzioni di correlazione dipendenti dal tempo. Diffusione anelastica dei neutroni e misura del fattore di struttura dinamico. Funzioni di correlazione di Van Hove. Principio del bilancio dettagliato. Teoria della risposta lineare. Funzione risposta. Teorema di fluttuazione-dissipazione. Diffusione delle particelle. Coefficiente di diffusione. Funzione di correlazione delle velocità. Idrodinamica e modi collettivi. Scattering Brillouin. Funzioni memoria. 5 - Stati metastabili, liquidi sottoraffreddati e transizione vetrosa per liquidi e materiali soffici. Stabilità e metastabilità. Curva spinodale dall'equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e andamenti delle funzioni di correlazione vicino al punto critico. Liquidi sottoraffreddati e transizione vetrosa. Diagramma di Angell. Entropia configurazionale e temperatura di Kauzmann. La dinamica lenta dei liquidi sottoraffreddati e della materia sofficie e la teoria di Mode Coupling.

### Testi

J.P. Hansen and I.R. McDonald, Theory of Simple Liquids, seconda edizione, Academic Press. N. H. March and M. P. Tosi, Introduction

to Liquid State Physics, World Scientific. P. G. Debenedetti, Metastable Liquids, Princeton University Press.

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

La parte di esposizione delle teorie viene svolta alla lavagna per consentire agli studenti di comprendere gli sviluppi analitici necessari. In particolare viene mostrato come da modelli microscopici si possano ricavare risultati da confrontare con esperimenti. Vengono introdotti poi i metodi sperimentali che consentono di osservare le proprietà dei vari sistemi di interesse. Per tale motivo in alcune fasi del corso le lezioni alla lavagna vengono integrate da presentazioni con proiezione di risultati sperimentali e/o ottenuti con simulazione al computer.

## Modalità di valutazione

L'esame finale è in forma orale. Esso consiste di due parti. La prima è l'esposizione di un argomento a scelta dello studente fra quelli in programma. Questa parte consente di evidenziare quanto lo studente sappia approfondire un tema ed entrare nei dettagli sia della derivazione teorica sia della fenomenologia. Lo studente che si trova all'ultimo anno della laurea magistrale apprende in questo modo ad esporre l'argomento come si trattasse di un seminario, questo è utile per il suo futuro di laureando. La seconda parte dell'esame orale consiste in una domanda su altro argomento in programma. In questo caso lo studente può rispondere senza entrare in tutti i dettagli della derivazione dei risultati. Sapere esporre un argomento a grandi linee in modo comprensibile è anche importante nei diversi rami della Fisica.

## English

### Prerequisites

No previous knowledge

### Programme

1 - Review of Thermodynamics and Statistical Mechanics. Extensive and intensive thermodynamic functions. Conditions of equilibrium. Legendre transforms and thermodynamic potentials. Phase stability conditions. Phase transitions and their classification. Van der Waals equation. Review of the theory of statistical ensembles. Fluctuations. 2 - Forces between atoms and short-range order. Characterization of the liquid state of matter. Characterization of soft materials. Forces between atoms and effective potentials. Distribution functions in the canon and the grand canon. Radial distribution function and relationship with thermodynamics. The static structure factor. Measurement of the structure of a liquid with X-ray and neutron scattering techniques. Structure factors and radial distribution functions of liquid and liquid molecular mixtures. Classic density functional theory. Ornstein-Zernike equation. Closing relations for the density functional. 3 - Numerical simulation of liquid and soft material. Stochastic and deterministic simulation methods. Molecular Dynamics Method. Verlet-style algorithms. Molecular dynamics at constant temperature and pressure. The Monte Carlo simulation method. Monte Carlo simulation in different ensembles. Phase equilibrium simulation methods. Application of Monte Carlo and Molecular Dynamics methods to complex liquids and soft materials. 4 - Dynamics of liquids and soft matter. Time-dependent correlation functions. Inelastic diffusion of neutrons and measurement of the dynamic structure factor. Van Hove correlation functions. Principle of the detailed budget. Linear response theory. Answer function. Fluctuation-dissipation theorem. Diffusion of particles. Diffusion coefficient. Speed correlation function. Hydrodynamics and collective modes. Scattering Brillouin. Memory functions. 5 - Metastable states, subcooled liquids and glass transition for liquids and soft materials. Stability and metastability. Spinodal curve from the Van der Waals equation. Fluctuations and trends of correlation functions near the critical point. Subcooled liquids and glass transition. Angell diagram. Configurational entropy and Kauzmann temperature. The slow dynamics of subcooled liquids and soft matter and the theory of Mode Coupling.

### Reference books

J.P. Hansen and I.R. McDonald, Theory of Simple Liquids, seconda edizione, Academic Press. N. H. March and M. P. Tosi, Introduction to Liquid State Physics, World Scientific. P. G. Debenedetti, Metastable Liquids, Princeton University Press.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410710 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture

**Docente:** DE SETA MONICA

## Italiano

### Prerequisiti

Fisica della Materia Condensata di base

### Programma

Parte 1 Programma Struttura elettronica dei solidi. Richiami di calcolo a bande nei solidi. Bande di sistemi semiconduttori III-V e IV. Bande e superficie di Fermi dei metalli alcalini, metalli nobili, metalli semplici bivalenti e trivalenti; metalli di transizione. Approssimazione della massa efficace. Livelli di impurezza nei semiconduttori drogati. Eterogiunzioni e eterostrutture. Stati elettronici e densità degli stati nelle buche quantiche, nei fili quantici e nei punti quantici. Proprietà di trasporto Richiami del modello di Drude. Equazioni semiclassiche del moto. Equazione del trasporto di Boltzmann. Interazione elettrone - fonone. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conduttività elettrica nell'approssimazione del tempo di rilassamento. Potere termoelettrico e conducibilità termica degli elettroni. Corrente di diffusione e di drift. Equazione di continuità e termini di generazione e ricombinazione nei semiconduttori. Tempo di ricombinazione e lunghezza di diffusione. Giunzione p-n in condizioni di non equilibrio. Proprietà ottiche Equazioni di Maxwell nei

solidi. Costante dielettrica complessa e suo significato. Coefficiente di assorbimento e riflessione. Relazioni di Kramers Kronig. Oscillatore di Lorentz. Teoria di Drude delle proprietà ottiche di cariche libere. Oscillazioni di plasma. Modello classico per la costante dielettrica. Transizioni interbanda: transizioni dirette. Densità congiunta degli stati, punti critici. Funzione dielettrica del Ge e della grafite. Transizioni interbanda indirette. Effetti eccitonici. Assorbimento da fononi ottici Proprietà magnetiche della materia. Moto di elettroni liberi e di elettroni di Bloch in campo magnetico. Trattazione quantistica e livelli di Landau. Degenerazione e riempimento dei livelli di Landau in 3D e 2D. Magnetoresistenza. Suscettività magnetica. Paramagnetismo e diamagnetismo. Diamagnetismo di Larmor. Origine del momento magnetico atomico, regole di Hund. Effetti del campo cristallino nei solidi. Legge di Curie del paramagnetismo. Paramagnetismo di Van Vleck e di Pauli. Diamagnetismo di Landau. Teoria di campo medio del ferromagnetismo: modello di Weiss. Legge di Curie-Weiss. Anti-Ferromagnetismo. Interazione di scambio e modello di Heisenberg. Interpretazione microscopica del campo di Weiss. Interazione dipolare e domini magnetici. Parte 2 Programma Eterogiunzioni e eterostrutture. Giunzione metallo semiconduttore. Sistemi 2-, 1-, 0-dimensionali. Stati elettronici e densità degli stati. Gas di elettroni 2D: lunghezze caratteristiche per il trasporto in sistemi a bassa dimensionalità. Diodo tunnel Risonante. Interferenza delle funzioni d'onda ed effetto Aharonov-Bohm. Trasporto balistico e quantizzazione della conduttanza nei sistemi 1-dimensionali. Gas di elettroni 2D in campo magnetico: oscillazioni di Shubnikov-de-Haas e effetto Hall quantistico. Tunnelling di singolo elettrone e bloccaggio coulombiano. Transistor a singolo elettrone. Qubits a semiconduttore per quantum computing (cenni). Proprietà ottiche delle nanostrutture: transizioni interbanda e intersottobanda nelle buche quantiche. Emettitori di luce, coefficiente di guadagno. Laser a diodo, a eterostruttura, a cascata quantica (cenni)

## Testi

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni frontali. I dettagli dei calcoli matematici saranno eseguiti alla lavagna. Alcuni argomenti verranno illustrati proiettando delle diapositive e riportando come esempio casi presi dalla letteratura scientifica recente. 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 e della valutazione degli studenti. In particolare si applicheranno le seguenti modalità: "lezioni a distanza in video conferenza tramite piattaforma Teams".

## Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. L'esame consiste in 2-3 domande sugli argomenti del corso. Si richiede allo studente di mostrare una autonoma capacità di inquadrare gli argomenti richiesti in un quadro generale, nonché di saper eseguire i calcoli matematici

## English

### Prerequisites

Basic condensed matter physics

### Programme

Section 1 Program Electronic properties of solids Reminds on band structure calculation methods. Band structure of III-V and IV semiconductors. Band structures and Fermi surfaces of selected metals. Effective mass approximation. Impurity levels in doped semiconductors. Transport properties The Drude Model. Semiclassical equations of transport. Boltzmann equation. Electron phonon interaction. Relaxation time approximation. Electrical conductivity in the relaxation time approximation. Thermoelectric power and thermal conductivity. Drift and diffusion currents. Generation and recombination of electron-hole pairs in semiconductors. Continuity equation. Recombination times and diffusion length. Current voltage characteristics of the p-n junction. Optical properties Maxwell Equations in solids. Complex Dielectric Constant. Absorption and reflection coefficients. Kramers Kronig Relations. Lorentz Oscillator. The Drude theory of the optical properties of metals. Optical properties of semiconductors and insulators. Direct interband transitions and critical points. Optical constants of Ge and Graphite. Absorption from impurity levels. Exciton effects. Indirect phonon-assisted transitions. Spontaneous and stimulated Emission, Photoluminescence, Electroluminescence, optical gain. Semiconductor diode laser. Magnetic properties of matter. Energy levels and density of states of a free electron gas in a magnetic field. Filling of Landau levels as a function of the magnetic field. Magneto-transport. Quantum mechanical treatment of magnetic susceptibility. Pauli paramagnetism. Magnetic susceptibility of closed-shell systems. Permanent magnetic dipoles in atoms and ions with partially filled shells. Paramagnetism of localized magnetic moments. Curie law. Van Vleck paramagnetism, Pauli paramagnetism and Landau diamagnetism. Magnetic ordering in crystals. Mean field theory of ferromagnetism: Weiss model. Curie-Weiss law. Anti-Ferromagnetism. Exchange interaction and Heisenberg model. Microscopic origin of the coupling between localized magnetic moments. Dipolar interaction and magnetic domains. Section 2- Program Heterojunctions and heterostructures. 2, 1, -0 dimensional systems: electronic states and density of states. 2 dimensional electron gases. Characteristics lengths for the electrical transport in low dimensional systems. Resonant tunnel diode. Aharonov-Bohm effect. Ballistic transport and conductance quantization in 1D systems. 2D gas in a magnetic field: Shubnikov-de-Haas oscillations and quantum Hall effect. Single electron tunneling and coulomb blockade effects. Single electron transistor. Semiconductor qu-bits for quantum computing (brief). Optical properties of nanostructures: interband and intersubband transitions in quantum wells. Nanostructures for light-emitters: heterostructure LED and lasers, quantum cascade lasers (brief).

### Reference books

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

## 20410710 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture

**Docente:** DI GASPARE LUCIANA

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenze di fisica dello stato solido

#### Programma

Parte 1 Programma Struttura elettronica dei solidi. Richiami di calcolo a bande nei solidi. Bande di sistemi semiconduttori III-V e IV. Bande e superficie di Fermi dei metalli alcalini, metalli nobili, metalli semplici bivalenti e trivalenti; metalli di transizione. Approssimazione della massa efficace. Livelli di impurezza nei semiconduttori drogati. Eterogiunzioni e eterostrutture. Stati elettronici e densità degli stati nelle buche quantiche, nei fili quantici e nei punti quantici. Proprietà di trasporto Richiami del modello di Drude. Equazioni semiclassiche del moto. Equazione del trasporto di Boltzmann. Interazione elettrone - fonone. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conduttività elettrica nell'approssimazione del tempo di rilassamento. Potere termoelettrico e conducibilità termica degli elettroni. Corrente di diffusione e di drift. Equazione di continuità e termini di generazione e ricombinazione nei semiconduttori. Tempo di ricombinazione e lunghezza di diffusione. Giunzione p-n in condizioni di non equilibrio. Proprietà ottiche Equazioni di Maxwell nei solidi. Costante dielettrica complessa e suo significato. Coefficiente di assorbimento e riflessione. Relazioni di Kramers Kronig. Oscillatore di Lorentz. Teoria di Drude delle proprietà ottiche di cariche libere. Oscillazioni di plasma. Modello classico per la costante dielettrica. Transizioni interbanda: transizioni dirette. Densità congiunta degli stati, punti critici. Funzione dielettrica del Ge e della grafite. Transizioni interbanda indirette. Effetti eccitonici. Assorbimento da fononi ottici Proprietà magnetiche della materia. Moto di elettroni liberi e di elettroni di Bloch in campo magnetico. Trattazione quantistica e livelli di Landau. Degenerazione e riempimento dei livelli di Landau in 3D e 2D. Magnetoresistenza. Suscettività magnetica. Paramagnetismo e diamagnetismo. Diamagnetismo di Larmor. Origine del momento magnetico atomico, regole di Hund. Effetti del campo cristallino nei solidi. Legge di Curie del paramagnetismo. Paramagnetismo di Van Vleck e di Pauli. Diamagnetismo di Landau. Teoria di campo medio del ferromagnetismo: modello di Weiss. Legge di Curie-Weiss. Anti-Ferromagnetismo. Interazione di scambio e modello di Heisenberg. Interpretazione microscopica del campo di Weiss. Interazione dipolare e domini magnetici. Parte 2 Programma Eterogiunzioni e eterostrutture. Giunzione metallo semiconduttore. Sistemi 2-, 1-, 0-dimensionali. Stati elettronici e densità degli stati. Gas di elettroni 2D: lunghezze caratteristiche per il trasporto in sistemi a bassa dimensionalità. Diodo tunnel Risonante. Interferenza delle funzioni d'onda ed effetto Aharonov-Bohm. Trasporto balistico e quantizzazione della conduttanza nei sistemi 1-dimensionali. Gas di elettroni 2D in campo magnetico: oscillazioni di Shubnikov-de-Haas e effetto Hall quantistico. Tunnelling di singolo elettrone e bloccaggio coulombiano. Transistor a singolo elettrone. Qubits a semiconduttore per quantum computing (cenni). Proprietà ottiche delle nanostrutture: transizioni interbanda e intersottobanda nelle buche quantiche. Emettitori di luce, coefficiente di guadagno. Laser a diodo, a eterostruttura, a cascata quantica (cenni)

#### Testi

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali. I dettagli dei calcoli matematici saranno eseguiti alla lavagna. Alcuni argomenti verranno illustrati proiettando delle diapositive e riportando come esempio casi presi dalla letteratura scientifica recente. 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 e della valutazione degli studenti. In particolare si applicheranno le seguenti modalità: "lezioni a distanza in video conferenza tramite piattaforma Teams".

#### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. L'esame consiste in 2-3 domande sugli argomenti del corso. Si richiede allo studente di mostrare una autonoma capacità di inquadrare gli argomenti richiesti in un quadro generale, nonché di saper eseguire i calcoli matematici

### English

#### Prerequisites

Solid Stat Physics

#### Programme

Section 1 Program Electronic properties of solids Reminds on band structure calculation methods. Band structure of III-V and IV semiconductors. Band structures and Fermi surfaces of selected metals. Effective mass approximation. Impurity levels in doped semiconductors. Transport properties The Drude Model. Semiclassical equations of transport. Boltzmann equation. Electron phonon interaction. Relaxation time approximation. Electrical conductivity in the relaxation time approximation. Thermoelectric power and thermal conductivity. Drift and diffusion currents. Generation and recombination of electron-hole pairs in semiconductors. Continuity equation. Recombination times and diffusion length. Current voltage characteristics of the p-n junction. Optical properties Maxwell Equations in solids. Complex Dielectric Constant. Absorption and reflection coefficients. Kramers Kronig Relations. Lorentz Oscillator. The Drude theory of the optical properties of metals. Optical properties of semiconductors and insulators. Direct interband transitions and critical points. Optical constants of Ge and Graphite. Absorption from impurity levels. Exciton effects. Indirect phonon-assisted transitions. Spontaneous and stimulated Emission, Photoluminescence, Electroluminescence, optical gain. Semiconductor diode laser. Magnetic properties of matter. Energy levels and density of states of a free electron gas in a magnetic field. Filling of Landau levels as a function of the magnetic field. Magneto-transport. Quantum mechanical treatment of magnetic susceptibility. Pauli paramagnetism. Magnetic susceptibility of closed-shell systems. Permanent magnetic dipoles in atoms and ions with partially filled shells. Paramagnetism of localized magnetic moments. Curie law. Van Vleck paramagnetism, Pauli paramagnetism and Landau diamagnetism. Magnetic ordering in crystals. Mean field theory of ferromagnetism: Weiss model. Curie-Weiss law.

Anti-Ferromagnetism. Exchange interaction and Heisemberg model. Microscopic origin of the coupling between localized magnetic moments. Dipolar interaction and magnetic domains. Section 2- Program Heterojunctions and heterostructures. 2, 1, -0 dimensional systems: electronic states and density of states. 2 dimensional electron gases. Characteristics lengths for the electrical transport in low dimensional systems. Resonant tunnel diode. Aharonov-Bohm effect. Ballistic transport and conductance quantization in 1D systems. 2D gas in a magnetic field: Shunikov-de-Haas oscillations and quantum Hall effect. Single electron tunneling and coulomb blockade effects. Single electron transistor. Semiconductor qu-bits for quantum computing (brief). Optical properties of nanostructures: interband and intersubband transitions in quantum wells. Nanostructures for light-emitters: heterostructure LED and lasers, quantum cascade lasers (brief).

### Reference books

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press ] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410711 - Fisica dei Solidi e delle Nanostrutture - MOD A

**Docente:** DE SETA MONICA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Struttura elettronica dei solidi. Richiami di calcolo a bande nei solidi. Bande di sistemi semiconduttori III-V e IV. Bande e superficie di Fermi dei metalli alcalini, metalli nobili, metalli semplici bivalenti e trivalenti; metalli di transizione. Approssimazione della massa efficace. Livelli di impurezza nei semiconduttori drogati. Eterogiunzioni e eterostrutture. Stati elettronici e densità degli stati nelle buche quantiche, nei fili quantici e nei punti quantici. Proprietà di trasporto Richiami del modello di Drude. Equazioni semiclassiche del moto. Equazione del trasporto di Boltzmann. Interazione elettrone - fonone. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conduttività elettrica nell'approssimazione del tempo di rilassamento. Potere termoelettrico e conduttività termica degli elettroni. Corrente di diffusione e di drift. Equazione di continuità e termini di generazione e ricombinazione nei semiconduttori. Tempo di ricombinazione e lunghezza di diffusione. Giunzione p-n in condizioni di non equilibrio. Proprietà ottiche Equazioni di Maxwell nei solidi. Costante dielettrica complessa e suo significato. Coefficiente di assorbimento e riflessione. Relazioni di Kramers Kronig. Oscillatore di Lorentz. Teoria di Drude delle proprietà ottiche di cariche libere. Oscillazioni di plasma. Modello classico per la costante dielettrica. Transizioni interbanda: transizioni dirette. Densità congiunta degli stati, punti critici. Funzione dielettrica del Ge e della grafite. Transizioni interbanda indirette. Effetti eccitonici. Assorbimento da fononi ottici. Proprietà magnetiche della materia. Moto di elettroni liberi e di elettroni di Bloch in campo magnetico. Trattazione quantistica e livelli di Landau. Degenerazione e riempimento dei livelli di Landau in 3D e 2D. Magnetoresistenza. Suscettività magnetica. Paramagnetismo e diamagnetismo. Diamagnetismo di Larmor. Origine del momento magnetico atomico, regole di Hund. Effetti del campo cristallino nei solidi. Legge di Curie del paramagnetismo. Paramagnetismo di Van Vleck e di Pauli. Diamagnetismo di Landau. Teoria di campo medio del ferromagnetismo: modello di Weiss. Legge di Curie-Weiss. Anti-Ferromagnetismo. Interazione di scambio e modello di Heisemberg. Interpretazione microscopica del campo di Weiss. Interazione dipolare e domini magnetici.

#### Testi

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press ] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali. I dettagli dei calcoli matematici saranno eseguiti alla lavagna. Alcuni argomenti verranno illustrati proiettando delle diapositive e riportando come esempio casi presi dalla letteratura scientifica recente.

#### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. L'esame consiste in 2-3 domande sugli argomenti del corso. Si richiede allo studente di mostrare una autonoma capacità di inquadrare gli argomenti richiesti in un quadro generale, nonché di saper eseguire i calcoli matematici

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Section 1 Program Electronic properties of solids Reminds on band structure calculation methods. Band structure of III-V and IV semiconductors. Band structures and Fermi surfaces of selected metals. Effective mass approximation. Impurity levels in doped semiconductors. Transport properties The Drude Model. Semiclassical equations of transport. Boltzmann equation. Electron phonon

interaction. Relaxation time approximation. Electrical conductivity in the relaxation time approximation. Thermoelectric power and thermal conductivity. Drift and diffusion currents. Generation and recombination of electron-hole pairs in semiconductors. Continuity equation. Recombination times and diffusion length. Current voltage characteristics of the p-n junction. Optical properties Maxwell Equations in solids. Complex Dielectric Constant. Absorption and reflection coefficients. Kramers Kronig Relations. Lorentz Oscillator. The Drude theory of the optical properties of metals. Optical properties of semiconductors and insulators. Direct interband transitions and critical points. Optical constants of Ge and Graphite. Absorption from impurity levels. Exciton effects. Indirect phonon-assisted transitions. Spontaneous and stimulated Emission, Photoluminescence, Electroluminescence, optical gain. Semiconductor diode laser. Magnetic properties of matter. Energy levels and density of states of a free electron gas in a magnetic field. Filling of Landau levels as a function of the magnetic field. Magneto-transport. Quantum mechanical treatment of magnetic susceptibility. Pauli paramagnetism. Magnetic susceptibility of closed-shell systems. Permanent magnetic dipoles in atoms and ions with partially filled shells. Paramagnetism of localized magnetic moments. Curie law. Van Vleck paramagnetism, Pauli paramagnetism and Landau diamagnetism. Magnetic ordering in crystals. Mean field theory of ferromagnetism: Weiss model. Curie-Weiss law. Anti-Ferromagnetism. Exchange interaction and Heisenberg model. Microscopic origin of the coupling between localized magnetic moments. Dipolar interaction and magnetic domains.

### Reference books

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Datta s.: Electronic transport in mesoscopic systems [Cambridge university press] Davies j. H. : The physics of low dimensional semiconductors [Cambridge university press]

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402259 - FISICA DEL CLIMA

**Docente:** PETITTA MARCELLO

### Italiano

### Prerequisiti

### Programma

Prima parte Definizione di clima (climatologia e meteorologia). Il sistema climatico (atmosfera, biosfera, criosfera, geosfera, idrosfera, Sole). La radiazione solare e il bilancio energetico della Terra (richiami di fisica solare, leggi della radiazione, assorbimento della radiazione solare nell'atmosfera). Atmosfera e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'atmosfera). Nubi e aerosol (richiami di processi di condensazione e formazione delle nubi). Oceano e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'oceano). Trasferimento radiativo (richiami di assorbimento, emissione e trasferimento radiativo dell'atmosfera). L'effetto serra (l'atmosfera come serra, i gas serra, calcolo del bilancio energetico, modelli di effetto serra). Lo strato di ozono (radiazione ultravioletta in atmosfera, fotochimica della produzione di ozono, misure di ozono, "buco" dell'ozono). Osservazioni climatiche con telerilevamento (misure da terra, misure satellitari, strumenti infrarossi, strumenti "limb viewing", applicazioni del telerilevamento agli studi climatici). Sensibilità climatica e cambiamento climatico (cambiamenti astronomici, solari, atmosferici, oceanici e fluttuazioni di temperatura). Clima di altri pianeti. Clima e società. Variabilità multidecadale della temperatura superficiale del mare (seminario del Dr. Salvatore Marullo). Misura lidar di gas serra (visita al Centro Ricerche ENEA di Frascati). Seconda parte Introduzione ai modelli climatici. Il percorso concettuale dalle osservazioni alle simulazioni. Approcci dinamico e statistico. Gerarchia dei modelli climatici e loro componenti, tipologie di modelli, il concetto di parametrizzazione. Modelli a Bilancio di Energia (EBM). Struttura generale di un EBM, EBM 0-dimensionali, EBM 1-dimensionali, parametrizzazioni negli EBM, applicazioni. Modelli Radiativo-Convettivi (RC) e Modelli a Complessità Intermedia (EMIC). Equilibrio radiativo e radiativo-convettivo e implementazione nei modelli climatici a complessità intermedia. Modelli Climatici Globali (GCM). Struttura di un GCM, componenti e interazioni, equazioni fondamentali e loro modellazione. Attività di attribution e risultati. Validazione dei modelli di clima. Cenni di modellistica climatica regionale e tecniche di downscaling. Scenari e proiezioni climatiche per il XXI secolo. Analizzare il clima e i suoi cambiamenti da un altro punto di vista: modelli a rete neurale e analisi di causalità di Granger. Dettagli sulle tecniche e risultati di attribution. Downscaling con modelli a rete neurale.

### Testi

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer, 4th Edition, Wiley.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni. Proiezione di slide. Elaborazione di semplici modelli climatici. Domande e risposte.

### Modalità di valutazione

Esame finale orale: lo studente risponderà a un paio di domande, una relativa alla prima parte del corso, l'altra alla seconda, dimostrando una buona conoscenza dei temi

### English

### Prerequisites

### Programme

first part Definition of climate (climatology and meteorology). The climate system (atmosphere, biosphere, cryosphere, geosphere, hydrosphere, Sun). The solar radiation and the energy balance of the Earth (solar physics calls, laws of radiation, absorption of solar radiation in the atmosphere). Atmosphere and Climate (recalls of composition, structure and circulation of the atmosphere). Clouds and aerosols (calls processes of condensation and cloud formation). Ocean and climate (recalls composition, structure and ocean circulation). Radiative transfer (calls of absorption, emission and radiative transfer of the atmosphere). The greenhouse effect (the atmosphere as greenhouse gas emissions, the calculation of the energy balance, greenhouse models). The ozone layer (ultraviolet radiation in the atmosphere, photochemical production of ozone, ozone measurements, "hole" ozone). Climate observation with remote sensing (measurements from land, satellite measurements, infrared instruments, tools "limb viewing", applications of remote sensing to studies climate). Climate sensitivity and climate change (changes astronomical, solar, atmospheric, oceanic and temperature fluctuations). Atmosphere of other planets. Climate and society. Multidecadal variability of sea surface temperature (seminar Dr. Salvatore Marullo). Lidar measurement of greenhouse gases (visit to the ENEA Frascati Research Center). second part Introduction to climate models. The conceptual path from observations to simulations. Dynamic and statistical approaches. Hierarchy of climate models and their components, types of models, the concept of parameter. Models Power Budget (EBM). General structure of an EBM, EBM 0-dimensional, one-dimensional EBM, parameter in EBM, applications. Radiative-convective models (RC) and models Intermediate Complexity (EMIC). Radiative-convective and radiative balance in climate models and implementation at intermediate complexity. Global Climate Models (GCMs). Structure of a GCM, components and interactions, fundamental equations and their modeling. Activities and results of attribution. Validation of climate models. Elements of regional climate modeling and downscaling techniques. Scenarios and climate projections for the XXI century. Analyze the climate and its changes from another point of view: neural network models and analysis of Granger causality. Details on techniques and results of attribution. Downscaling with neural network models.

### Reference books

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer, 4th Edition, Wiley.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402259 - FISICA DEL CLIMA

Canale:N0

Docente: PETITTA MARCELLO

Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Prima parte Definizione di clima (climatologia e meteorologia). Il sistema climatico (atmosfera, biosfera, criosfera, geosfera, idrosfera, Sole). La radiazione solare e il bilancio energetico della Terra (richiami di fisica solare, leggi della radiazione, assorbimento della radiazione solare nell'atmosfera). Atmosfera e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'atmosfera). Nubi e aerosol (richiami di processi di condensazione e formazione delle nubi). Oceano e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'oceano). Trasferimento radiativo (richiami di assorbimento, emissione e trasferimento radiativo dell'atmosfera). L'effetto serra (l'atmosfera come serra, i gas serra, calcolo del bilancio energetico, modelli di effetto serra). Lo strato di ozono (radiazione ultravioletta in atmosfera, fotochimica della produzione di ozono, misure di ozono, "buco" dell'ozono). Osservazioni climatiche con telerilevamento (misure da terra, misure satellitari, strumenti infrarossi, strumenti "limb viewing", applicazioni del telerilevamento agli studi climatici). Sensibilità climatica e cambiamento climatico (cambiamenti astronomici, solari, atmosferici, oceanici e fluttuazioni di temperatura). Clima di altri pianeti. Clima e società. Variabilità multidecadale della temperatura superficiale del mare (seminario del Dr. Salvatore Marullo). Misura lidar di gas serra (visita al Centro Ricerche ENEA di Frascati). Seconda parte Introduzione ai modelli climatici. Il percorso concettuale dalle osservazioni alle simulazioni. Approcci dinamico e statistico. Gerarchia dei modelli climatici e loro componenti, tipologie di modelli, il concetto di parametrizzazione. Modelli a Bilancio di Energia (EBM). Struttura generale di un EBM, EBM 0-dimensionali, EBM 1-dimensionali, parametrizzazioni negli EBM, applicazioni. Modelli Radiativo-Convettivi (RC) e Modelli a Complessità Intermedia (EMIC). Equilibrio radiativo e radiativo-convettivo e implementazione nei modelli climatici a complessità intermedia. Modelli Climatici Globali (GCM). Struttura di un GCM, componenti e interazioni, equazioni fondamentali e loro modellazione. Attività di attribution e risultati. Validazione dei modelli di clima. Cenni di modellistica climatica regionale e tecniche di downscaling. Scenari e proiezioni climatiche per il XXI secolo. Analizzare il clima e i suoi cambiamenti da un altro punto di vista: modelli a rete neurale e analisi di causalità di Granger. Dettagli sulle tecniche e risultati di attribution. Downscaling con modelli a rete neurale.

### Testi

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer, 4th Edition, Wiley.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

Esame finale orale: lo studente risponderà a un paio di domande, una relativa alla prima parte del corso, l'altra alla seconda, dimostrando una buona conoscenza dei temi

## English

### Prerequisites

none

### Programme

first part Definition of climate (climatology and meteorology). The climate system (atmosphere, biosphere, cryosphere, geosphere, hydrosphere, Sun). The solar radiation and the energy balance of the Earth (solar physics calls, laws of radiation, absorption of solar radiation in the atmosphere). Atmosphere and Climate (recalls of composition, structure and circulation of the atmosphere). Clouds and aerosols (calls processes of condensation and cloud formation). Ocean and climate (recalls composition, structure and ocean circulation). Radiative transfer (calls of absorption, emission and radiative transfer of the atmosphere). The greenhouse effect (the atmosphere as greenhouse gas emissions, the calculation of the energy balance, greenhouse models). The ozone layer (ultraviolet radiation in the atmosphere, photochemical production of ozone, ozone measurements, "hole" ozone). Climate observation with remote sensing (measurements from land, satellite measurements, infrared instruments, tools "limb viewing", applications of remote sensing to studies climate). Climate sensitivity and climate change (changes astronomical, solar, atmospheric, oceanic and temperature fluctuations). Atmosphere of other planets. Climate and society. Multidecadal variability of sea surface temperature (seminar Dr. Salvatore Marullo). Lidar measurement of greenhouse gases (visit to the ENEA Frascati Research Center). second part Introduction to climate models. The conceptual path from observations to simulations. Dynamic and statistical approaches. Hierarchy of climate models and their components, types of models, the concept of parameter. Models Power Budget (EBM). General structure of an EBM, EBM 0-dimensional, one-dimensional EBM, parameter in EBM, applications. Radiative-convective models (RC) and models Intermediate Complexity (EMIC). Radiative-convective and radiative balance in climate models and implementation at intermediate complexity. Global Climate Models (GCMs). Structure of a GCM, components and interactions, fundamental equations and their modeling. Activities and results of attribution. Validation of climate models. Elements of regional climate modeling and downscaling techniques. Scenarios and climate projections for the XXI century. Analyze the climate and its changes from another point of view: neural network models and analysis of Granger causality. Details on techniques and results of attribution. Downscaling with neural network models.

### Reference books

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer, 4th Edition, Wiley.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

**Docente:** GALLO PAOLA

## 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

-

## 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

**Canale:**N0

**Docente:** LUPI LAURA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

SI SVOLGONO GLI ESERCIZI RELATIVI ALLE SEGUENTI PARTI DEL PROGRAMMA DEL CORSO DELLA PROFESSORESSA PAOLA GALLO: Descrizione geometrica dei cristalli: reticoli diretti, reticoli reciproci e zona di Brillouin. Scattering di particelle da cristalli: raggi x. Dinamica vibrazionale del reticolo cristallino, fononi. Calori specifici vibrazionali di Einstein e Debye e calore specifico elettronico. Teoria a bande degli elettroni nei cristalli: metodo del Tight Binding, approssimazione dell'elettrone quasi libero. Trasporto semiconduttori intrinseci e drogati.

#### Testi

ESERCIZI divisi in "testi" e "testi e soluzioni" pubblicati sul sito del corso. Sullo stesso sito saranno pubblicate prove di esonero e esame di anni precedenti.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le esercitazioni vengono svolte con cadenza settimanale. Gli esercizi vengono proposti e risolti alla lavagna. Gli stessi esercizi vengono poi pubblicati con le soluzioni sulla pagina web del corso. <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallo/>

#### Modalità di valutazione

SI VEDA LA PAGINA DEL TITOLARE DEL CORSO : PAOLA GALLO <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallo/>

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Exercises on the following topics: Geometric description of crystals: direct and reciprocal lattices and Brillouin zone. Scattering of particles by crystals: x-rays. Quasicrystals. Lattice vibrational dynamics, phonons. Specific heats of Einstein, Debye and electronic. Band theory of electrons in crystals: Tight Binding method and the nearly free electron approximation. Intrinsic and doped semiconductors and transport.

#### Reference books

EXERCISES published on the webpage of the class. Exams of previous years available on the same webpage.

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

**Canale:**N0

**Docente:** GALLO PAOLA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessun prerequisito richiesto

## Programma

Panoramica sulla materia condensata. Descrizione geometrica dei cristalli: reticoli diretti, reticoli reciproci e zona di Brillouin. Scattering di particelle da cristalli: raggi x, elettroni e neutroni. Quasicristalli. Classificazione dei solidi cristallini e legami. Approssimazione adiabatica di Born-Oppenheimer. Dinamica vibrazionale del reticolo cristallino, fononi. Calori specifici vibrazionali di Einstein e Debye e calore specifico elettronico. Elettroni in potenziali periodici: il teorema di Bloch. Teoria dell'elettrone libero nei metalli. L'Hamiltoniano a multielettroni e approssimazioni ad elettrone singolo: equazioni di Hartree e Hartree-Fock. Teoria a bande dei cristalli: metodo del Tight Binding, approssimazione dell'elettrone quasi libero. Proprietà elettroniche di cristalli rilevanti. Trasporto nei metalli. Semiconduttori intrinseci e drogati e trasporto. Giunzione p-n. Superconduttività.

## Testi

TESTO PRINCIPALE: Giuseppe Grosso and Giuseppe Pastori Parravicini Solid State Physics Academic Press ALTRI TESTI UTILIZZATI: Neil W. Ashcroft N. David Mermin Solid State Physics Saunders College Charles Kittel Introduzione alla Fisica Dello Stato Solido Casa Editrice Ambrosiana APPUNTI, PRESENTAZIONI E ESERCIZI sono pubblicati sul sito del corso <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni frontali ed esercitazioni Le lezioni frontali si svolgono alla lavagna. Il docente alterna teoria ad esempi ed esercizi esplicativi dei concetti. Vengono proiettate delle presentazioni che contengono soprattutto figure che aiutano la comprensione dei fenomeni. Il docente segue il libro di testo tranne per alcune parti per le quali si forniscono appunti del docente pubblicati sulla pagina web del corso. Anche le presentazioni vengono pubblicate sulla pagina web del corso. Le esercitazioni vengono svolte con cadenza settimanale. Gli esercizi vengono proposti e risolti alla lavagna. Gli stessi esercizi vengono poi pubblicati con le soluzioni sulla pagina web del corso. <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

## Modalità di valutazione

Prova scritta e prova orale separate. La prova scritta si può superare sostenendo i due esoneri. Il primo esonero proposto a metà corso riguarda esercizi relativi agli argomenti della prima metà del corso. Nel primo esonero vengono proposti due esercizi da svolgere in due ore. Il secondo esonero avviene durante la prima o la seconda prova scritta, riguarda la seconda metà del corso e consiste anch'esso di due esercizi da svolgere in due ore. La prova scritta si può superare sostenendo altrimenti lo scritto nelle date degli appelli. Per i primi due appelli verranno proposti quattro esercizi da svolgere in quattro ore. Lo studente potrà svolgere due esercizi in due ore e passare un esonero (tipicamente il secondo, ma anche il primo se vuole) o tutti e quattro gli esercizi. Negli appelli successivi al secondo si chiederà di risolvere tre esercizi in tre ore che spazieranno su tutto il programma. È consentito l'uso della calcolatrice e di un formulario. Prove relative agli anni precedenti (esoneri e scritti) sono pubblicate sul sito del corso. Durante la prova orale verranno chiesti due o tre argomenti. La candidata o il candidato deve esporre ciascun argomento in maniera chiara e deve ricavare le formule che lo descrivono su un foglio. Verranno valutate il livello di comprensione del fenomeno e la chiarezza espositiva.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Overview on condensed matter. Geometric description of crystals: direct and reciprocal lattices and Brillouin zone. Scattering of particles by crystals: x-rays, electrons and neutrons. Quasicrystals. Classification of crystalline solids and bonds. Adiabatic approximation (Born-Openheimer). Lattice vibrational dynamics, phonons. Specific heats of Einstein, Debye and electronic. Electrons in periodic potentials: the Bloch theorem. Theory of the free electron in metals. The many electrons Hamiltonian and one electron approximations: Hartree and Hartree Fock equation. Band theory in crystals: Tight Binding method and the nearly free electron approximation. Electronic properties of relevant crystals. Transport in metals. Intrinsic and doped semiconductors and transport. p-n junction. Superconductivity.

### Reference books

Giuseppe Grosso and Giuseppe Pastori Parravicini Solid State Physics Academic Press others: Neil W. Ashcroft N. David Mermin Solid State Physics Saunders College Charles Kittel Introduzione alla Fisica Dello Stato Solido Casa Editrice Ambrosiana WRITTEN NOTES, PRESENTATIONS AND EXERCISES will be published on the course web site <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410879 - Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia

**Docente:** PETITTA MARCELLO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenze di Fisica generale ed Analisi matematica.

## Programma

o Struttura dell'atmosfera terrestre o Forze fondamentali ed equazioni del moto per i fluidi o Equazione di continuità, Eq. del momento, bilancio idrostatico o Scale del moto atmosferico o Meccanica dei fluidi in sistemi di riferimento rotanti o Equazioni primitive, f-plane e Beta-plane o Bilancio Geostrofico o Come si visualizzano le variabili meteorologiche e climatiche o Strumenti di visualizzazione e dati climatici o Onde nei fluidi, gravity waves, static stability e Lapse Rate adiabatico o Modello Shallow water o Come si effettuano le previsioni meteorologiche con mappe e dati o Approssimazione di Boussinesq o Teoremi della vorticità e della circolazione o Modelli predittivi a grande scala e a scala locale o Modello di Lorentz o Vorticità potenziale o Teoria Geostrofica o Teoria Quasi geostrofica o Strato di Ekman e spirale di Ekman o Onde di Rossby. Approssimazione WKB, onde topografiche e di gravità. o Atmosfera Barotropica o Atmosfera Baroclinica o Bilancio Radiativo in atmosfera.

## Testi

o G. K. Vallis - Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge University Press, Second Edition o G. K. Vallis - Essentials of Atmospheric and Oceanic Dynamics. Cambridge University Press, 2019. o R. Holton - An Introduction to Dynamic Meteorology - Academic Press, 2013

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in presenza con l'utilizzo della lavagna e del proiettore.

## Modalità di valutazione

Gli esami prevedono una prova orale Nella valutazione dell'esame la determinazione del voto finale terrà conto di elementi, come ad esempio: livello e la qualità della conoscenza degli argomenti; la capacità di analizzare un argomento in modo critico; la logica delle argomentazioni a sostegno di una tesi; la capacità di applicare teorie e concetti ai contesti; l'utilizzo di un lessico appropriato alla disciplina oggetto di studio. Una prima parte dell'esame orale prevede la scelta, la descrizione e l'analisi di un argomento a piacere dello studente a cui seguiranno domande di approfondimento su tutto il programma.

## English

## Prerequisites

Knowledge of General Physics and Mathematical Analysis

## Programme

o Structure of the Earth's atmosphere o Fundamental forces and equations of motion for fluids o Equation of continuity, Eq. of the moment, hydrostatic balance o Atmospheric Motion Scales o Fluid mechanics in rotating reference systems o Primitive equations, f-plane and Beta-plane o Geostrophic Balance o How to view weather and climate variables o Visualization tools and climate data o Waves in fluids, gravity waves, static stability and adiabatic Lapse Rate o Shallow water model o How to make weather forecasts with maps and data o Boussinesq approximation o Vorticity and circulation theorems o Large-scale and local-scale predictive models o Lorentz model o Potential vorticity o Geostrophic Theory o Quasi-geostrophic theory o Ekman's layer and Ekman's spiral or Rossby Waves. WKB approximation, topographic and gravity waves. o Barotropic Atmosphere o Baroclinic atmosphere o Radiative Balance in the atmosphere

## Reference books

o G. K. Vallis - Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge University Press, Second Edition o G. K. Vallis - Essentials of Atmospheric and Oceanic Dynamics. Cambridge University Press, 2019. o R. Holton - An Introduction to Dynamic Meteorology - Academic Press, 2013

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE

**Docente:** SALAMANNA GIUSEPPE

## Italiano

## Prerequisiti

nessuno

## Programma

Aspetti fenomenologici e sperimentali della fisica delle astroparticelle: correlazioni tra fisica delle particelle, astrofisica e cosmologia; il problema della materia oscura; raggi cosmici e meccanismi di accelerazione dei raggi cosmici; massa di neutrini ed oscillazione dei neutrini la conservazione del numero leptonico ed il decadimento doppio beta; la conservazione del numero barionico ed il problema del decadimento del protone; violazione di cp e asimmetria materia-antimateria.

## Testi

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcom S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H.

V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009 Maurizio Spurio Probes of Multimessenger Astrophysics: Charged cosmic rays, neutrinos, #-rays and gravitational waves Cham Heidelberg New York London 2018

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali. Per ogni argomento principale, una lezione (o più di una nel caso di argomenti di più ampio respiro) verrà dedicata alla presentazione della tematica e al suo inquadramento all'interno del panorama scientifico. Una successiva lezione sarà poi dedicata alla presentazione della ricerca attuale sul tema oggetto della discussione. Le ultime lezioni verranno dedicate ad accompagnare gli studenti nella preparazione del seminario oggetto dell'esame finale.

### Modalità di valutazione

Esame orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Phenomenological and Experimental topics in Astroparticle Physics. Common problems in particle physics, astrophysics and cosmology. Dark Matter. Cosmic Rays. Cosmic Rays Acceleration. Neutrino Masses and Neutrino Oscillation. Lepton Number non-conservation and double beta decay. Baryon Number non-conservation and proton decay. CP violation and the matter-antimatter asymmetry.

### Reference books

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcom S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H. V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009 Maurizio Spurio Probes of Multimessenger Astrophysics: Charged cosmic rays, neutrinos, #-rays and gravitational waves Cham Heidelberg New York London 2018

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE

**Docente:** BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA

## Italiano

### Prerequisiti

Nessun requisito specifico.

### Programma

ASPETTI FENOMENOLOGICI E SPERIMENTALI DELLA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE: CORRELAZIONI TRA FISICA DELLE PARTICELLE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA; IL PROBLEMA DELLA MATERIA OSCURA; RAGGI COSMICI E MECCANISMI DI ACCELERAZIONE DEI RAGGI COSMICI; MASSA DI NEUTRINI ED OSCILLAZIONE DEI NEUTRINI LA CONSERVAZIONE DEL NUMERO LEPTONICO ED IL DECADIMENTO DOPPIO BETA; LA CONSERVAZIONE DEL NUMERO BARIONICO ED IL PROBLEMA DEL DECADIMENTO DEL PROTONI; VIOLAZIONE DI CP E ASIMMETRIA MATERIA-ANTIMATERIA.

### Testi

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcom S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H. V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009 Maurizio Spurio Probes of Multimessenger Astrophysics: Charged cosmic rays, neutrinos, #-rays and gravitational waves Cham Heidelberg New York London 2018

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali. Per ogni argomento principale, una lezione (o più di una nel caso di argomenti di più ampio respiro) verrà dedicata alla presentazione della tematica e al suo inquadramento all'interno del panorama scientifico. Una successiva lezione sarà poi dedicata alla presentazione della ricerca attuale sul tema oggetto della discussione. Le ultime lezioni verranno dedicate ad accompagnare gli studenti nella preparazione del seminario oggetto dell'esame finale.

### Modalità di valutazione

Esame orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte.

## English

### Prerequisites

No specific requirements.

### Programme

Phenomenological and Experimental topics in Astroparticle Physics. Common problems in particle physics, astrophysics and cosmology. Dark Matter. Cosmic Rays. Cosmic Rays Acceleration. Neutrino Masses and Neutrino Oscillation. Lepton Number non-conservation and double beta decay. Baryon Number non-conservation and proton decay. CP violation and the matter-antimatter asymmetry.

### Reference books

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcolm S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H. V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009 Maurizio Spurio Probes of Multimessenger Astrophysics: Charged cosmic rays, neutrinos,  $\gamma$ -rays and gravitational waves Cham Heidelberg New York London 2018

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

Canale: N0

Docente: TARANTINO CECILIA

## Italiano

### Prerequisiti

Argomenti svolti nei corsi di Fisica Teorica I e II

### Programma

Lezioni Introduttive: Funzioni di Green, Diagrammi di Feynman, Esponenziazione dei diagrammi disconnessi, Stati IN e OUT, Matrice S, Matrice S in termini dei diagrammi di Feynman, Rappresentazione spettrale di Kaellen-Lehmann, Formula di riduzione LSZ. Rinormalizzabilità: Grado di Divergenza Superficiale dei Diagrammi, Teoria delle Perturbazioni Rinormalizzata, Equazione di Callan-Symanzik, Funzioni beta e gamma, Running coupling, Risommazione dei logaritmi leading. Metodo degli Integrali Funzionali: Introduzione al Formalismo degli Integrali Funzionali, Integrale Funzionale per una teoria di campo (Int. funz. per una teoria di campo scalare), Funzioni di correlazione in termini di integrali funzionali, Funzionale generatore, Regole di Feynman dall'Integrale Funzionale, Quantizzazione del Campo Elettromagnetico (Procedura di Faddeev-Popov), Quantizzazione di Teorie di Gauge Non-Abeliane, Ghosts.

### Testi

Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder "An Introduction to Quantum Field Theory"; Franz Mandl, Graham Shaw "Quantum Field Theory".

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna/ipad in cui sono spiegati fondamenti ed approfondimenti della Teoria dei Campi. Esercitazioni alla lavagna/ipad per insegnare a prendere dimestichezza con il formalismo della Teoria dei Campi sia in Seconda Quantizzazione che nell'ambito del metodo degli Integrali Funzionali. Le ore dedicate alla parte più concettuale e quelle dedicate alle esercitazioni sono numericamente confrontabili.

### Modalità di valutazione

Prova orale sul programma svolto durante il corso. L'esame orale prevede due/tre domande su più parti del programma, volte ad esplorare la comprensione degli argomenti più concettuali e la familiarità con il formalismo della Teoria dei Campi. La durata dell'esame orale è compresa tra mezz'ora ed un'ora.

## English

### Prerequisites

Subjects that are explained in Fisica Teorica I and II

### Programme

Introductory Lectures: Green Functions, Feynman Diagrams, Exponentiation of disconnected diagrams, IN and OUT states, S-Matrix, S-Matrix in terms of Feynman diagrams, Kaellen-Lehmann Spectral Representation, LSZ Reduction Formula, Optical Theorem. Renormalization: Superficial Divergence Degree of Diagrams, Renormalized Perturbation Theory, Callan-Symanzik Equation, Beta and Gamma Functions, Running coupling, Leading Logarithm Resummation. Path Integral Method: Introduction to Path Integral Formalism,

Path Integral for a Field Theory (Path Int. for a scalar field theory), Green functions in terms of Path Int., Feynman rules from Path Int., Generating Functional, QED Quantization (Faddeev-Popov Method), Dirac Field Quantization, Quantization of Non-abelian Gauge Theories, Ghosts.

### Reference books

Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder "An Introduction to Quantum Field Theory"; Franz Mandl, Graham Shaw "Quantum Field Theory".

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B )

**Docente:** PETRUCCI FABRIZIO

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

#### Programma

MODULO B - Elementi di statistica applicata agli esperimenti di fisica subnucleare. - Esperimenti e misure a LEP. - Ricerche del bosone di Higgs e cenni a ricerche di fisica oltre il modello standard agli acceleratori - Esempi di esperimenti di fisica del neutrino e ricerche di Materia Oscura. - Identificazione di jet da quark b (btagging) e fisica dei quark top. - Strumentazione complessa: gli spettrometri magnetici, i sistemi di identificazione di particella, grandi apparati sperimentali. - Rivelatori a scintillazione e rivelatori ottici (PMT, APD, SiPM). Rivelatori a stato solido. Camere proporzionali a multi-fili. - Calorimetria e.m. ed adronica. - Sistemi e menu di trigger agli esperimenti moderni. - Elementi di utilizzo del codice di analisi ROOT.

#### Testi

(Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

#### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

### English

#### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

#### Programme

SECTION B - Elements of statistical analysis applied to particle physics experiments - Experiments and results at LEP - Higgs boson searches and mentions of BSM searches at colliders - Examples of experimental neutrino physics and Dark Matter searches - b-jet identification and top quark measurements - Complex detectors: magnetic spectrometers, particle identification, large detectors - Scintillators and optical devices (PMT, APD, SiPM). Solid state detectors. Multi-wire proportional chambers. - E.m. and hadronic calorimetry - Trigger systems and menus at modern experiments - ROOT analysis software tutorial

## Reference books

(Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A )

**Docente:** PETRUCCI FABRIZIO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. È consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

### Programma

MODULO A a) parte generale/strumenti formali: - Equazioni quantistiche relativistiche, regole di selezione, sezioni d'urto e risonanze. - Principi di invarianza e leggi di conservazione, trasformazioni continue e discrete, parità, coniugazione di carica, inversione temporale. b) prima fenomenologia, adroni: - Isospin forte, stranezza. Isospin del pione e misure correlate. - Plot di Dalitz e loro interpretazione. Puzzle Theta-tau - Richiami sul modello a quark. - Modello a partoni, densità di quark e antiquark. c) interazioni elettro-deboli, decadimenti, mescolamento dei sapori: - Hamiltoniana e fenomenologia delle interazioni deboli. Vincoli sperimentali da esp. di Wu (violazione P) e di Goldhaber (elicita' neutrino) - Angolo di Cabibbo, meccanismo GIM e scoperta del charm. Scoperta del leptone tau. "November revolution" del 1974 - Modello standard delle interazioni elettrodeboli e sue verifiche: scoperta delle correnti neutre, esp. Gargamelle. UA1/UA2 e scoperta dei bosoni W e dello Z. - Violazione della simmetria CP, mescolamento di sapori pesanti. Cenni a B-factories e misure degli angoli CKM da mesoni B. - Fisica dei neutrini dalla teoria di Fermi ad oggi con particolare riguardo per le oscillazioni di neutrino. d) QCD: anatomia e all'opera ai moderni collisionatori: - Cromo-dinamica quantistica, colore, gluoni, confinamento, urti profondamente anelastici. - Evoluzioni di eventi a collisionatori adronici, cascata partonica, algoritmi e misure dei jet a Tevatron. e) Cenni alle strumentazioni sperimentali, anche per teorici - Interazioni della radiazione con la materia. Tecniche di base della rivelazione delle particelle.

### Testi

(Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

## English

### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

### Programme

SECTION A a) intro and formal tools: - Relativistic equations, selection rules, cross sections and resonances - Invariance principles and conservation rules, continuous and discrete transformations, Parity, Charge conjugation, Time inversion b) early phenomenology, hadrons: - Strong isospin, Strangeness. Pion isospin and its expt. determination - Dalitz plots and their interpretation. Theta-tau puzzle. - Quark model, mentions - Parton model, quark and anti-quark density c) Electro-weak interactions, decays, flavour mixing - Hamiltonian and phenomenology of weak interactions. Experimental constraints from Wu (P violation) and Goldhaber (neutrino helicity) - Cabibbo angle, GIM mechanism. Discovery of the charm quark and tau lepton. The 1974 "November revolution" - Standard model of electro-weak interactions and their experimental confirmations: discovery of neutral currents, Gargamelle expt. W and Z bosons discovery and UA1,2 - CP violation, meson mixing. Mentions to B-factories and measurement of CKM angles from B mesons - Evolution of events at hadronic colliders, parton shower, jet algorithms and related measurements - Neutrino physics from the Fermi theory to the current day: particularly neutrino oscillations d) QCD: anatomy and at work at modern colliders: - QCD, colour, gluons, confinement, DIS - Evolution of events at hadron colliders, parton showers, algorithms, measurements with jets at Tevatron. e) Intro to experimental tools, also useful for theorists - Radiation - matter interactions. Basics of particle detection techniques

### Reference books

(Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A )

**Docente:** SALAMANNA GIUSEPPE

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invariante, operazioni su quadri-vettori. È consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

#### Programma

MODULO A a) parte generale/strumenti formali: - Equazioni quantistiche relativistiche, regole di selezione, sezioni d'urto e risonanze. - Principi di invarianza e leggi di conservazione, trasformazioni continue e discrete, parità, coniugazione di carica, inversione temporale. b) prima fenomenologia, adroni: - Isospin forte, stranezza. Isospin del pione e misure correlate. - Plot di Dalitz e loro interpretazione. Puzzle Theta-tau - Richiami sul modello a quark. - Modello a partoni, densità di quark e antiquark. c) interazioni elettro-deboli, decadimenti, mescolamento dei sapori: - Hamiltoniana e fenomenologia delle interazioni deboli. Vincoli sperimentali da esp. di Wu (violazione P) e di Goldhaber (elicita' neutrino) - Angolo di Cabibbo, meccanismo GIM e scoperta del charm. Scoperta del leptone tau. "November revolution" del 1974 - Modello standard delle interazioni elettrodeboli e sue verifiche: scoperta delle correnti neutre, esp. Gargamelle. UA1/UA2 e scoperta dei bosoni W e dello Z. - Violazione della simmetria CP, mescolamento di sapori pesanti. Cenni a B-factories e misure degli angoli CKM da mesoni B. - Fisica dei neutrini dalla teoria di Fermi ad oggi con particolare riguardo per le oscillazioni di neutrino. d) QCD: anatomia e all'opera ai moderni collisionatori: - Cromo-dinamica quantistica, colore, gluoni, confinamento, urti profondamente anelastici. - Evoluzioni di eventi a collisionatori adronici, cascata partonica, algoritmi e misure dei jet a Tevatron. e) Cenni alle strumentazioni sperimentali, anche per teorici - Interazioni della radiazione con la materia. Tecniche di base della rivelazione delle particelle.

#### Testi

TESTI: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

#### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte

sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

## English

### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

### Programme

SECTION A a) intro and formal tools: - Relativistic equations, selection rules, cross sections and resonances - Invariance principles and conservation rules, continuous and discrete transformations, Parity, Charge conjugation, Time inversion b) early phenomenology, hadrons: - Strong isospin, Strangeness. Pion isospin and its expt. determination - Dalitz plots and their interpretation. Theta-tau puzzle. - Quark model, mentions - Parton model, quark and anti-quark density c) Electro-weak interactions, decays, flavour mixing - Hamiltonian and phenomenology of weak interactions. Experimental constraints from Wu (P violation) and Goldhaber (neutrino helicity) - Cabibbo angle, GIM mechanism. Discovery of the charm quark and tau lepton. The 1974 "November revolution" - Standard model of electro-weak interactions and their experimental confirmations: discovery of neutral currents, Gargamelle expt. W and Z bosons discovery and UA1,2 - CP violation, meson mixing. Mentions to B-factories and measurement of CKM angles from B mesons - Evolution of events at hadronic colliders, parton shower, jet algorithms and related measurements - Neutrino physics from the Fermi theory to the current day: particularly neutrino oscillations d) QCD: anatomy and at work at modern colliders: - QCD, colour, gluons, confinement, DIS - Evolution of events at hadron colliders, parton showers, algorithms, measurements with jets at Tevatron. e) Intro to experimental tools, also useful for theorists - Radiation - matter interactions. Basics of particle detection techniques

### Reference books

TEXTS: (Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B )

**Docente:** SALAMANNA GIUSEPPE

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

### Programma

MODULO B - Elementi di statistica applicata agli esperimenti di fisica subnucleare. - Esperimenti e misure a LEP. - Ricerche del bosone di Higgs e cenni a ricerche di fisica oltre il modello standard agli acceleratori - Esempi di esperimenti di fisica del neutrino e ricerche di Materia Oscura. - Identificazione di jet da quark b (btagging) e fisica dei quark top. - Strumentazione complessa: gli spettrometri magnetici, i sistemi di identificazione di particella, grandi apparati sperimentali. - Rivelatori a scintillazione e rivelatori ottici (PMT, APD, SiPM). Rivelatori a stato solido. Camere proporzionali a multi-fili. - Calorimetria e.m. ed adronica. - Sistemi e menu di trigger agli esperimenti moderni. - Elementi di utilizzo del codice di analisi ROOT.

### Testi

TESTI: (Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

## Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

## English

### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

### Programme

SECTION B - Elements of statistical analysis applied to particle physics experiments - Experiments and results at LEP - Higgs boson searches and mentions of BSM searches at colliders - Examples of experimental neutrino physics and Dark Matter searches - b-jet identification and top quark measurements - Complex detectors: magnetic spectrometers, particle identification, large detectors - Scintillators and optical devices (PMT, APD, SiPM). Solid state detectors. Multi-wire proportional chambers. - E.m. and hadronic calorimetry - Trigger systems and menus at modern experiments - ROOT analysis software tutorial

### Reference books

TEXTS: (Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCIE

**Docente:** OFFI FRANCESCO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza dei principi di fisica della materia condensata

### Programma

- Superficie di un solido e interfaccia solido/solido: nozioni generali, sviluppo storico e applicazioni - Termodinamica, cristallografia e struttura: reticoli bi-dimensionali e superstrutture, reticolo reciproco e zone di Brillouin, tensione superficiale e forma dei cristalli, difetti strutturali, rilassamento e ricostruzione, interfacce solido/solido, nucleazione e crescita di film sottili, analisi della struttura di una superficie mediante diffrazione di elettroni - Proprietà elettroniche: stati elettronici di superficie, bande tridimensionali, mappatura delle bande con la tecnica di fotoemissione, stati immagine e surface core level shift, stati elettronici nei semiconduttori, la funzione lavoro, vibrazioni di superficie e adsorbati, metodi di osservazione di fononi di superficie, plasmoni di superficie e polaritoni - Adsorbimento, desorbimento e diffusione: fisisorbimento e chemisorbimento, adsorbimento dissociativo, adsorbimento e funzione lavoro, interazioni tra specie adsorbate, transizioni di fase bi-dimensionali, cinetica di adsorbimento, desorbimento. Diffusione su una superficie: leggi di Flick, meccanismi e anisotropia di diffusione, diffusione atomica e di cluster - Tecniche sperimentali: nozioni generali di ultra alto vuoto (UHV), sistemi di pompaggio, componenti da vuoto, preparazione di una superficie pulita, tecniche di deposizione in vuoto - Magnetismo di superficie: struttura elettronica e anisotropia nei materiali ferromagnetici, magnetizzazione e anisotropia magnetica di superficie, fotoemissione polarizzata in spin, dicroismo magnetico, microscopio a fotoemissione di elettroni per rivelare domini magnetici

### Testi

- Philip Hofmann, Surface Physics - Hans Lüth, Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films (Springer-Verlag, 2010) - K. Oura, et al., Surface Science, An Introduction (Springer-Verlag, 2003) - Andrew Zangwill, Physics at Surfaces (Cambridge University press, 1992) - Gabor A. Somorjai, Introduction to surface chemistry and catalysis (Wiley, 2010)

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il docente illustra gli argomenti del corso attraverso la proiezione su schermo delle lezioni che vengono successivamente fornite agli studenti.

### Modalità di valutazione

Gli studenti vengono valutati attraverso una prova finale orale, in cui viene richiesto di illustrare uno o più argomenti descritti durante il corso. E' prevista anche una valutazione in itinere, in cui viene richiesto agli studenti di descrivere specifici argomenti del corso

concordati con gli studenti stessi.

## English

### Prerequisites

Knowledge of the fundamentals of condensed matter physics

### Programme

- Surface of a solid and solid/solid interface: general notions, historical development and applications - Thermodynamics, crystallography and structure: two-dimensional lattices and superstructures; reciprocal lattice and Brillouin zone - surface tension and crystals shape; structural defects; relaxation and reconstruction; solid/solid interfaces; nucleation and thin film growth, low energy electron diffraction to investigate surface structure - Electronic properties: surface electronic states; three-dimensional bands; band mapping with the photoemission technique; image states and core level shift; electronic states in semiconductors; the work function; surface and adsorbed vibrations; surface phonon observation methods; surface plasmons and polaritons - Adsorption and desorption: physisorption and chemisorption; dissociative adsorption; adsorption and work function; interactions between adsorbed species; bi-dimensional phase transitions; adsorption kinetics; desorption. Surface diffusion: Flick laws, mechanisms and anisotropy of diffusion, atomic and cluster diffusion - Experimental techniques: general concepts of ultra high vacuum; pumping systems; vacuum components; preparation of a clean surface; vacuum deposition techniques - Surface magnetism: electronic structure and anisotropy in ferromagnetic materials; magnetization and magnetic surface anisotropy; spin-polarized photoemission; magnetic dichroism; photoemission electron microscope for detecting magnetic domains - Microscopy: scanning and transmission electron microscope; probe scanning microscopy; scanning tunneling microscope and atomic force microscope

### Reference books

- Philip Hofmann, Surface Physics - Hans Lüth, Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films (Springer-Verlag, 2010) - K. Oura, et al., Surface Science, An Introduction (Springer-Verlag, 2003) - Andrew Zangwill, Physics at Surfaces (Cambridge University press, 1992) - Gabor A. Somorjai, Introduction to surface chemistry and catalysis (Wiley, 2010)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

**Docente:** DI MICCO BIAGIO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Programma: 1. Principi di invarianza e leggi di conservazione. 2. simmetrie discrete e continue; 3. equazioni relativistiche: Klein-Gordon, Dirac 4. soluzioni ad energia negativa, elicità, spin, soluzioni per massa nulla, i neutrini 5. teoria delle perturbazioni relativistica, hamiltoniana di interazione, grafici di Feynman, propagatore come funzione di Green; 6. trasformazioni di Lorentz, sistema di laboratorio e del centro di massa, massa invariante, cinematica delle reazioni, soglia di reazione; 7. campi di interazione, modello di Yukawa; 8. raggi cosmici primari e secondari, il muone: decadimento, massa e vita media; 9. cinematica dei decadimenti, combinazione dei momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan, simmetria dell'isospin; 10. larghezze di decadimento e confronto tra elementi di matrice, leggi di conservazione; 11. densità dello spazio delle fasi, sezione d'urto di Scattering, fattori di flusso, fattore dello spazio delle fasi invariante, elementi di matrice di scattering; 12. il pione: carica, spin, parità, coniugazione di carica, isospin; 13. particelle strane, iperoni, interazione dei mesoni K; 14: barioni strani, ottetti mesonici e barionici, simmetria SU(3), ipercarica, diagrammi di Young; 15: scoperta dell'anti-protone, gli anti-barioni, la risonanza Delta; 16: risonanze adroniche e mesoniche, modello a Quarks; 17: rappresentazione dei mesoni nel modello a quarks 18: scattering da potenziale, soluzione dell'equazione di Schroedinger per onde sferiche; 19: sezione d'urto di diffusione e assorbimento, limite di unitarietà, teorema ottico; 20: sezione d'urto risonante, formula di Breit-Wigner, masse dei barioni con formula di Gell-Mann Okubo; 21: il numero quantico di colore, rappresentazioni SU(3) di colore, relazioni tra spin e multipletti di SU(3); 22: l'interazione debole, violazione della parità, esperimento di madame Wu; 23: oscillazione dei mesoni K, l'angolo di Cabibbo, il meccanismo GIM; 23: scoperta dei quark charm e beauty; 24: decadimento dei mesoni D e B, diagrammi di Feynman, relazioni di isospin; 25: fasci di neutrini, sapore dei neutrini, scoperta del neutrino tau; 25: le macchine acceleratrici e+ e-, sezione d'urto di produzione adronica, il rapporto R e il numero di quarks e colori; 26: misura dell'elicità del neutrino, scoperta dell'anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, funzioni di distribuzione partoniche; 27: collisori adronici, protone-anti-protone e protone-protone: scoperta dei bosoni W e Z; 28: il bosone di Higgs

### Testi

1. dispense del corso, reperibili sul sito del corso; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in modo frontale con l'ausilio della lavagna a gesso per l'illustrazione dei concetti di base, lo svolgimento dei passaggi algebrici necessari e di un video proiettore per la visualizzazione degli schemi apparati sperimentali, grafici e tabelle. Le

esercitazioni sono effettuate altresì alla lavagna per la proposizione degli esercizi e la loro soluzione.

### Modalità di valutazione

L'esame comprende una prova per iscritto in cui gli studenti dovranno effettuare il calcolo della sezione d'urto di alcuni processi elementari, risolvere esercizi di cinematica relativistica, rispondere a domande a risposta aperta e chiusa sulle nozioni fondamentali illustrate durante lo svolgimento delle lezioni. Gli studenti che superano con successo la prova scritta sono ammessi all'esame orale dove dovranno illustrare i concetti appresi, mostrando padronanza degli argomenti trattati e capacità di elaborazione dei concetti e delle metodologie acquisite applicandole a configurazioni sperimentali ideali o agli esperimenti trattati durante il corso.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Program: 1. Principles of invariance and conservation laws. 2. discrete and continuous symmetries; 3. relativistic equations: Klein-Gordon, Dirac 4. negative energy solutions, helicity, spin, solutions for zero mass, neutrinos 5. relativistic perturbation theory, interaction Hamiltonian, Feynman graphs, propagator as a Green function; 6. Lorentz transformations, laboratory and center of mass system, invariant mass, reaction kinematics, reaction threshold; 7. fields of interaction, Yukawa model; 8. primary and secondary cosmic rays, the muon: decay, mass and average life; 9. kinematics of decays, combination of angular moments, Clebsch-Gordan coefficients, symmetry of the isospin; 10. decay widths and comparison between matrix elements, laws of storage; 11. phase space density, Scattering cross section, flux, factor of the space and of the invariant phases, scattering matrix elements; 12. the pion: charge, spin, parity, charge conjugation, isospin; 13. strange particles, hyperons, interaction of the K mesons; 14. strange baryons, mesonic and baryonic octets, SU (3) symmetry, hypercharge, Young's diagrams; 15. discovery of the anti-proton, the anti-baryons, the Delta resonance; 16: hadronic and mesonic resonances, model at Quarks; 17: representation of the mesons in the quarks model 18: potential scattering, solution of the Schroedinger equation for waves spherical; 19: diffusion and absorption cross section, unitarity limit, optical theorem; 20: resonant cross section, Breit-Wigner formula, baryon masses with Gell-Man Okubo formula; 21: the color quantum number, SU (3) representations of color, relationships between spin and SU (3) multiplets; 22: weak interaction, parity violation, madame Wu experiment; 23: oscillation of the K mesons, the Cabibbo angle, the GIM mechanism; 23: discovery of the charm and beauty quarks; 24: decay of D and B mesons, Feynman diagrams, isospin relations; 25: neutrino beams, neutrino flavor, discovery of the neutrino tau; 25: the accelerating machines  $e^+ e^-$ , hadronic impact section, the ratio R and the number of quarks and colors; 26: measurement of the helicity of the neutrino, discovery of the anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, parton distribution functions; 27: hadronic colliders, proton-anti-proton and proton-proton: discovery of the W and Z bosons; 28: the Higgs boson

#### Reference books

1. course notes, available on the course website; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

**Docente:** ORESTANO DOMIZIA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Programma: 1. Principi di invarianza e leggi di conservazione. 2. simmetrie discrete e continue; 3. equazioni relativistiche: Klein-Gordon, Dirac 4. soluzioni ad energia negativa, elicità, spin, soluzioni per massa nulla, i neutrini 5. teoria delle perturbazioni relativistica, hamiltoniana di interazione, grafici di Feynman, propagatore come funzione di Green; 6. trasformazioni di Lorentz, sistema di laboratorio e del centro di massa, massa invariante, cinematica delle reazioni, soglia di reazione; 7. campi di interazione, modello di Yukawa; 8. raggi cosmici primari e secondari, il muone: decadimento, massa e vita media; 9. cinematica dei decadimenti, combinazione dei momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan, simmetria dell'isospin; 10. larghezze di decadimento e confronto tra elementi di matrice, leggi di conservazione; 11. densità dello spazio delle fasi, sezione d'urto di Scattering, fattori di flusso, fattore dello spazio delle fasi invariante, elementi di matrice di scattering; 12. il pione: carica, spin, parità, coniugazione di carica, isospin; 13. particelle strane, iperoni, interazione dei mesoni K; 14: barioni strani, ottetti mesonici e barionici, simmetria SU(3), ipercarica, diagrammi di Young; 15: scoperta dell'anti-protone, gli anti-barioni, la risonanza Delta; 16: risonanze adroniche e mesoniche, modello a Quarks; 17: rappresentazione dei mesoni nel modello a quarks 18: scattering da potenziale, soluzione dell'equazione di Schroedinger per onde sferiche; 19: sezione d'urto di diffusione e assorbimento, limite di unitarietà, teorema ottico; 20: sezione d'urto risonante, formula di Breit-Wigner, masse dei barioni con formula di Gell-Man Okubo; 21: il numero quantico di colore, rappresentazioni SU(3) di colore, relazioni tra spin e multipletti di SU(3); 22: l'interazione debole, violazione della parità, esperimento di madame Wu; 23: oscillazione dei mesoni K, l'angolo di Cabibbo, il meccanismo GIM; 23: scoperta dei quark charm e beauty; 24: decadimento dei mesoni D e B, diagrammi di Feynman, relazioni di isospin; 25: fasci di neutrini, sapore dei neutrini, scoperta del neutrino tau; 25: le macchine acceleratrici  $e^+ e^-$ , sezione d'urto di produzione adronica, il rapporto R e il numero di quarks e colori; 26: misura dell'elicità del neutrino, scoperta dell'anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, funzioni di distribuzione partoniche; 27: collisori adronici, protone-anti-protone e protone-protone: scoperta dei bosoni W e Z; 28: il bosone di Higgs

## Testi

1. dispense del corso, reperibili sul sito del corso; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in modo frontale con l'ausilio della lavagna a gesso per l'illustrazione dei concetti di base, lo svolgimento dei passaggi atematici necessari e di un video proiettore per la visualizzazione degli schemi apparati sperimentali, grafici e tabelle. Le esercitazioni sono effettuate altresì alla lavagna per la proposizione degli esercizi e la loro soluzione.

## Modalità di valutazione

L'esame comprende una prova per iscritto in cui gli studenti dovranno effettuare il calcolo della sezione d'urto di alcuni processi elementari, risolvere esercizi di cinematica relativistica, rispondere a domande a risposta aperta e chiusa sulle nozioni fondamentali illustrate durante lo svolgimento delle lezioni. Gli studenti che superano con successo la prova scritta sono ammessi all'esame orale dove dovranno illustrare i concetti appresi, mostrando padronanza degli argomenti trattati e capacità di elaborazione dei concetti e delle metodologie acquisite applicandole a configurazioni sperimentali ideali o agli esperimenti trattati durante il corso.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Program: 1. Principles of invariance and conservation laws. 2. discrete and continuous symmetries; 3. relativistic equations: Klein-Gordon, Dirac 4. negative energy solutions, helicity, spin, solutions for zero mass, neutrinos 5. relativistic perturbation theory, interaction Hamiltonian, Feynman graphs, propagator as a Green function; 6. Lorentz transformations, laboratory and center of mass system, invariant mass, reaction kinematics, reaction threshold; 7. fields of interaction, Yukawa model; 8. primary and secondary cosmic rays, the muon: decay, mass and average life; 9. kinematics of decays, combination of angular moments, Clebsch-Gordan coefficients, symmetry of the isospin; 10. decay widths and comparison between matrix elements, laws of storage; 11. phase spaction density, Scattering cross section, flux, factor of the space and of the invariant phases, scattering matrix elements; 12. the pion: charge, spin, parity, charge conjugation, isospin; 13. strange particles, hyperons, interaction of the K mesons; 14. strange baryons, mesonic and baryonic octets, SU (3) symmetry, hypercharge, Young's diagrams; 15. discovery of the anti-proton, the anti-baryons, the Delta resonance; 16. hadronic and mesonic resonances, model at Quarks; 17: representation of the mesons in the quarks model 18: potential scattering, solution of the Schroedinger equation for waves spherical; 19: diffusion and absorption cross section, unitarity limit, optical theorem; 20: resonant cross section, Breit-Wigner formula, baryon masses with Gell-Man Okubo formula; 21: the color quantum number, SU (3) representations of color, relationships between spin and SU (3) multiplets; 22: weak interaction, parity violation, madame Wu experiment; 23: oscillation of the K mesons, the Cabibbo angle, the GIM mechanism; 23: discovery of the charm and beauty quarks; 24: decay of D and B mesons, Feynman diagrams, isospin relations; 25: neutrino beams, neutrino flavor, discovery of the neutrino tau; 25: the accelerating machines e + e-, hadronic impact section, the ratio R and the number of quarks and colors; 26: measurement of the helicity of the neutrino, discovery of the anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, parton distribution functions; 27: hadronic colliders, proton-anti-proton and proton-proton: discovery of the W and Z bosons; 28: the Higgs boson

### Reference books

1. course notes, available on the course website; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401904 - FISICA TEORICA I

**Docente:** DEGRASSI GIUSEPPE

## 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

-

## 20401904 - FISICA TEORICA I

Canale:N0

Docente: DEGRASSI GIUSEPPE

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenza delle equazioni di Maxwell e delle onde elettromagnetiche. Conoscenza della meccanica quantistica non relativistica.

#### Programma

Relatività ristretta ed elettromagnetismo Richiami di relatività ristretta: trasformazioni di Lorentz, addizione delle velocità, aberrazione della luce. Rappresentazione grafica di Minkowski: classificazione degli intervalli, dilatazione dei tempi, contrazione delle lunghezze, causalità. Caratterizzazione completa delle trasformazioni delle coordinate che lasciano invariato l'intervallo spazio-temporale pseudoeuclideo: gruppo di Poincaré, gruppo di Lorentz e loro struttura. Elementi di calcolo quadritensoriale: scalari, vettori controvarianti, vettori covarianti, tensori, pseudotensori, prodotto scalare, contrazioni tensoriali. Legge di trasformazione dei campi, quadrigradiente. Elementi di meccanica relativistica: quadriaccelerazione, quadripulso, quadrivettore forza e legge della potenza. Formulazione covariante dell'equazione di Lorentz e tensore del campo elettromagnetico. Proprietà di trasformazione dei campi elettrico e magnetico. Formulazione covariante delle equazioni di Maxwell. Potenziale vettore, potenziale scalare, quadripotenziale. Equazioni di Maxwell nel vuoto per il quadripotenziale nella gauge di Lorentz e loro soluzione generale. Campo creato da una carica in moto uniforme: derivazione dal campo elettrostatico mediante una trasformazione di Lorentz. Bilancio energetico nel formalismo trivettoriale: densità di energia, vettore di Poynting. Bilancio energetico nel formalismo covariante: tensore energia ed impulso. Leggi di conservazione: conservazione del quadripulso totale e tensore degli sforzi di Maxwell. Conservazione del momento angolare totale. Equazioni di Maxwell nel vuoto per il quadripotenziale nella gauge di Lorentz e loro soluzione generale. Soluzioni di tipo onda piana delle equazioni di Maxwell nel vuoto e loro proprietà. Densità e flusso di energia di un'onda piana. Pressione della radiazione. Formulazione covariante della polarizzazione. Equazione per il quadripotenziale in presenza di sorgenti. Funzione di Green. Potenziali e campi di Lienard e Wiechert. Potenza irradiata in approssimazione non relativistica e relativistica. Sezione d'urto Thomson. Effetto Compton. Effetto Cerenkov. Meccanica quantistica relativistica. Equazione di Dirac. Covarianza dell'equazione. Limite non relativistico. Covarianti bilineari. Soluzioni dell'equazione di Dirac. Proiettori per le soluzioni ad energia positiva e negativa. Elicità e chiralità. Teoria dei campi quantizzati Il campo elettromagnetico libero come insieme di oscillatori armonici. Quantizzazione del campo in gauge di radiazione. Operatori di creazione ed annichilazione. Richiami di meccanica quantistica: oscillatore armonico, rappresentazione di Heisenberg, operatore di evoluzione temporale, prodotto cronologico. Formalismo lagrangiano dal discreto al continuo. Quantizzazione del campo. Commutatori canonici. Simmetrie e teorema della Noether. Invarianza per traslazioni spazio-temporali. Tensore energia-impulso. Simmetrie interne. Lagrangiano del campo scalare reale e complesso, sua quantizzazione. Prodotti ordinati. Invarianza globale e locale. Lagrangiano del campo di Dirac. Quantizzazione. Anticommutatori canonici. Quantizzazione del campo elettromagnetico. La rappresentazione di interazione. Matrice S. Sviluppo perturbativo della matrice S. Teorema di Wick. Commutatori dei campi bosonici e fermionici a tempi arbitrari. Propagatori per il campo scalare e di Dirac. Propagatore del fotone. Introduzione alle regole di Feynman. Regole di Feynman in QED. Sezione d'urto. Processi ad ordine albero:  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ , diffusione in campo esterno.

#### Testi

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata.

#### Modalità di valutazione

L'esame consisterà in una prova orale su entrambe le parti del corso. E' possibile portare all'esame orale solo la parte di meccanica quantistica relativistica e teoria dei campi se lo studente supera l'esonero sulla parte di Relatività ed elettromagnetismo che viene svolto alla fine della prima parte. Nel caso lo studente non abbia superato l'esonero di Relatività nella prova orale verrà chiesto di risolvere un esercizio di Relatività o elettromagnetismo.

## English

### Prerequisites

Knowledge of Maxwell equations and of the electromagnetic waves. Knowledge of non-relativistic quantum mechanics.

### Programme

Special Relativity and Electromagnetism. Lorentz transformations, Minkowski plane, Poincaré and Lorentz groups. Covariant and contravariant vectors, tensors, transformation law of the fields. Relativistic Dynamics: four-velocity, four-momentum, Minkowski force. Covariant formulation of Electromagnetism: transformation properties of the electric and magnetic fields, electromagnetic field tensor, covariant formulation of the Maxwell equations, four-potential, gauge invariance. Conservation laws: Maxwell stress tensor, energy-momentum tensor, conservation of energy, momentum and angular momentum. Solution of the Maxwell equations for the four-potential in the vacuum in the Lorentz gauge. Plane waves, radiation pressure. Lienard e Wiechert potentials. Radiated power. Thomson cross section. Compton effect. Cerenkov effect. Relativistic Quantum Mechanics Klein-Gordon equation. Dirac equation, non-relativistic limit. Covariance of the Dirac equation. Solutions of Dirac equation. Projectors for positive and negative energy solutions. Helicity. Chirality. Quantum Field Theory Quantization of the electromagnetic field in the radiation gauge. Creation and annihilation operators. Heisenberg representation. Lagrangian field theory, symmetry and conservation laws, Noether theorem. Field quantization. Lagrangian for a real and complex scalar field, quantization. Lagrangian for a Dirac field, quantization. Electromagnetic field, covariant quantization. Global and local invariance. Interaction picture. S-matrix and its expansion. Wick theorem. Commutators and propagators for bosonic and fermionic fields. Quantization of the electromagnetic field. Feynman diagrams and rules in QED. Tree-level processes:  $e^+e^-$  -  $\mu^+\mu^-$ , scattering by an external field.

### Reference books

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402218 - FISICA TEORICA II

**Docente:** DEGRASSI GIUSEPPE

## 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**  
-

**20402218 - FISICA TEORICA II**

**Canale:**N0

**Docente:** MELONI DAVIDE

**Italiano**

**Prerequisiti**

Aver superato l'esame di Fisica Teorica I

**Programma**

1. I Diagrammi di Feynman, processi ad ordine albero, simmetrie discrete Richiami sui diagrammi di Feynman ed il calcolo delle sezioni d'urto. Processi ad ordine albero: diffusione Bhabha, effetto Compton. Invarianza di gauge per la somma di diagrammi in QED. Rappresentazione chirale e di Majorana per le matrici di Dirac. Parità, coniugazione di carica, teorema di Furry, inversione temporale. 2. Correzioni Radiative Comportamento divergente di un integrale. Grado di divergenza di un diagramma. Teorie rinormalizzabili. Regolarizzazione alla Pauli-Villars. Calcolo dell'autoenergia di una particella scalare ad una loop e divergenze quadratiche. Rinormalizzazione di massa, funzione d'onda, vertice. Autoenergia dell'elettrone. QED Identità di Ward. Identità di Gordon. Regolarizzazione dimensionale. Calcolo ad una loop della polarizzazione del vuoto, Lamb shift, discussione qualitativa sul running delle costante di accoppiamento. Vertice in QED, momento magnetico anomalo dell'elettrone. Bremsstrahlung, divergenze infrarosse e loro cancellazione tra diagrammi reali e virtuali. 3. Teorie di Gauge Non Abelian Lagrangiano di Yang-Mills. Cromodinamica quantistica. Vertici a 3 e 4 gluoni. Propagatore di un bosone di gauge in una gauge arbitraria. Invarianza di gauge in teorie non abeliane. Running delle costante di accoppiamento forte, libertà asintotica. Interazioni deboli. Teoria di Fermi e bosone vettoriale intermedio. Propagatore del W. Decadimento del muone. Lagrangiano del Modello Standard. Angolo di mescolamento elettrodebole. Rottura spontanea della simmetria. Meccanismo di Higgs. Masse dei bosoni intermedi e dei fermioni. Matrice di mescolamento di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

**Testi**

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Shroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

**Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

**Modalità erogazione**

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata.

**Modalità di valutazione**

Esame orale. Lo studente potrà sostenere l'esame orale solo dopo aver passato una prova scritta da svolgersi a casa.

**English**

**Prerequisites**

Have passed the exam of Theoretical Physics I

**Programme**

Feynman diagrams. Tree-level processes. Discrete symmetry Feynman diagrams and cross-sections. Bhabha and Compton scattering. Gauge invariance. Chiral and Majorana representations for the matrices. Parity, charge conjugation and time-reversal. Radiative Corrections Divergent behavior of an integral. Primitively divergent diagrams. Pauli-Villars regularization. Coupling, mass and wave-function renormalization in a scalar theory. QED. Ward identity. Dimensional regularization. Vacuum polarization and Lamb shift. Running of the coupling constant. Bremsstrahlung, infrared divergencies and their cancellation between real and virtual contributions. Non Abelian Gauge Theories Yang-Mills Lagrangian. QCD. Non Abelian gauge invariance. Running of the strong coupling. Asymptotic freedom. Weak Interactions. Fermi and IVB theories. W propagator. mu decay. Standard Model Lagrangian. Weak angle. Spontaneous symmetry breaking and Higgs mechanism. Mass of the intermediate vector bosons. CKM matrix

**Reference books**

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Shroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

**Reference bibliography**  
-

**Study modes**  
-

**Exam modes**  
-

**20402218 - FISICA TEORICA II**

**Canale:**N0

**Docente:** DEGRASSI GIUSEPPE

## Italiano

### Prerequisiti

Fisica Teorica I

### Programma

1. I Diagrammi di Feynman, processi ad ordine albero, simmetrie discrete Richiami sui diagrammi di Feynman ed il calcolo delle sezioni d'urto. Processi ad ordine albero: diffusione Bhabha, effetto Compton. Invarianza di gauge per la somma di diagrammi in QED. Rappresentazione chirale e di Majorana per le matrici di Dirac. Parità, coniugazione di carica, teorema di Furry, inversione temporale. 2. Correzioni Radiative Comportamento divergente di un integrale. Grado di divergenza di un diagramma. Teorie rinormalizzabili. Regularizzazione alla Pauli-Villars. Calcolo dell'autoenergia di una particella scalare ad una loop e divergenze quadratiche. Rinormalizzazione di massa, funzione d'onda, vertice. Autoenergia dell'elettrone. QED Identità di Ward. Identità di Gordon. Regularizzazione dimensionale. Calcolo ad una loop della polarizzazione del vuoto, Lamb shift, discussione qualitativa sul running delle costante di accoppiamento. Vertice in QED, momento magnetico anomalo dell'elettrone. Bremsstrahlung, divergenze infrarosse e loro cancellazione tra diagrammi reali e virtuali. 3. Teorie di Gauge Non Abelian Lagrangiano di Yang-Mills. Cromodinamica quantistica. Vertici a 3 e 4 gluoni. Propagatore di un bosone di gauge in una gauge arbitraria. Invarianza di gauge in teorie non abeliane. Running delle costante di accoppiamento forte, libertà asintotica. Interazioni deboli. Teoria di Fermi e bosone vettoriale intermedio. Propagatore del W. Decadimento del muone. Lagrangiano del Modello Standard. Angolo di mescolamento elettrodebole. Rottura spontanea della simmetria. Meccanismo di Higgs. Masse dei bosoni intermedi e dei fermioni. Matrice di mescolamento di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

### Testi

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata.

### Modalità di valutazione

Esame orale. Lo studente potrà sostenere l'esame orale solo dopo aver passato un prova scritta da svolgersi a casa.

## English

### Prerequisites

Theoretical Physics I

### Programme

Feynman diagrams. Tree-level processes. Discrete symmetry Feynman diagrams and cross-sections. Bhabha and Compton scattering. Gauge invariance. Chiral and Majorana representations for the matrices. Parity, charge conjugation and time-reversal. Radiative Corrections Divergent behavior of an integral. Primitively divergent diagrams. Pauli-Villars regularization. Coupling, mass and wave-function renormalization in a scalar theory. QED. Ward identity. Dimensional regularization. Vacuum polarization and Lamb shift. Running of the coupling constant. Bremsstrahlung, infrared divergencies and their cancellation between real and virtual contributions. Non Abelian Gauge Theories Yang-Mills Lagrangian. QCD. Non Abelian gauge invariance. Running of the strong coupling. Asymptotic freedom. Weak Interactions. Fermi and IVB theories. W propagator. mu decay. Standard Model Lagrangian. Weak angle. Spontaneous symmetry breaking and Higgs mechanism. Mass of the intermediate vector bosons. CKM matrix

### Reference books

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410042 - FISICA TERRESTRE

**Docente:** PETTINELLI ELENA

## Italiano

### Prerequisiti

Competenze acquisite in corsi di fisica e matematica avanzati

### Programma

La Terra nel Sistema Solare Titus-Bode Law. Pianeti terrestri e gassosi. Cenni sulla formazione del sistema solare. Cenni di chimica del

sistema solare. Classificazione geochimica degli elementi. Formazione e differenziazione dei pianeti La Terra come Pianeta Definizione di pianeta. Leggi di Keplero. Caratteristiche generali: acqua liquida, atmosfera, dicotomia crostale, campo magnetico, dinamica interna. Massa, densità e momento d'inerzia della Terra Il problema della stima della densità media della Terra: cenni storici (da Newton a Poynting). L'esperimento di Cavendish in chiave moderna. Stima della massa della Terra e dei pianeti – Densità media della Terra. Richiami sul momento d'inerzia. Tensore dei momenti d'inerzia. Ellissoide e sferoide. Momento d'inerzia di una sfera solida a densità costante. Momenti d'inerzia e modelli di strutture planetarie. La forma e la gravità terrestre La forma (figure) della Terra..Ellissoide oblatto e schiacciamento polare. Forma della Terra e topografia. Forma della Terra e variazioni di g. Accelerazione e potenziale gravitazionale. Potenziale gravitazionale: equazione di Laplace. Potenziale gravitazionale in coordinate sferiche. Potenziale gravitazionale di una sfera solida a densità costante. Soluzione generale dell'equazione di Laplace in coordinate sferiche. Polinomi di Legendre. Armoniche sferiche e coefficienti di Stokes. Equazione di MacCullagh e momenti d'inerzia. Ellitticità della forma (figure) della Terra. Il rapporto di accelerazione m (acceleration ratio). Il geopotenziale. Relazione fra  $J_2$ ,  $J_4$ , m ed f. Calcolo del rapporto d'inerzia per la Terra. La gravità sullo sferoide di riferimento. Latitudine geocentrica e geografica. Formula di Clairaut. La gravità normale. Il geode. Misure di g. Misure assolute e relative. Correzioni nella misura di g. Anomalie in aria libera e di Bouguer. Non univocità delle anomalie di g. Isostasia. Anomalie isostatiche. Movimenti verticali della crosta. Compensazione isostatica. Aggiustamenti isostatici e viscosità del mantello. Misure del geode da satellite. Ondulazioni del geode. Maree e rotazione terrestre Origine delle maree. Potenziali mareali. Componenti dell'accelerazione mareale lunare. Combinazione delle maree lunari e solari. Maree Terrestri. Attrito mareale e decelerazione della rotazione terrestre e lunare. Nutazione di Eulero ed oscillazione di Chandler. Precessione luni-solare. Cenni sulle proprietà dei minerali e delle rocce Struttura cristallina dei minerali. Le rocce. Classificazione delle rocce. Rocce sedimentarie, ignee e metamorfiche. Eutettici e soluzioni solide. Magnetismo terrestre: Cenni storici - da Petrus Peregrinus a Gauss. Il magnetismo delle rocce Fisica del magnetismo. Principio di equivalenza di Ampere. Richiami sui momenti magnetici atomici. Suscettività magnetica. Proprietà magnetiche della materia. Diamagnetismo (teoria classica). Paramagnetismo (teoria classica). Ferromagnetismo. Ferrimagnetismo. Antiferromagnetismo. Ferromagnetismo parassita. Minerali magnetici. Magnetismo delle rocce. Titanomagnetiti e serie magnetiche. Magnetizzazione delle rocce. Tipi di magnetizzazione. Magnetizzazione termo-rimanente (TRM). Magnetizzazione chimica rimanente (CRM). Magnetizzazione detritica rimanente (DRM). Cenni sul Paleomagnetismo. Campo magnetico terrestre Le osservabili del CMT. Caratteristiche generali del CMT. Equazione di Laplace e potenziale del CMT. Coefficienti di Gauss. CMT modellizzato con dipoli. Il campo dipolare terrestre. Best fit del CMT – dipolo eccentrico inclinato. Spettro di potenza del CMT. Stima della profondità della sorgente del campo principale. Variazione secolare. Sorgenti esterne del CMT. Composizione del nucleo terrestre. Modelli del CMT. Dinamo di Bullard. Modello a dinamo autoeccitata. L'approccio magnetoidrodinamico. Equazioni della magnetoidrodinamica. Modelli magneto idrodinamici. Misure magnetiche. Magnetometro a precessione. Anomalie magnetiche e correzioni. Calore terrestre Il budget energetico della Terra. Trasmissione del calore all'interno della Terra: conduzione, convezione, irraggiamento e avvezione. Sorgenti interne di calore. Calore originario; calore radiogenico; altre sorgenti di calore. Equazione della conduzione (Equazione di Fourier). Equazione della conduzione del calore in tre dimensioni. Diffusione termica. Termine avvertivo. Geoterma di equilibrio. Cenni sul trasporto di calore nella litosfera oceanica e continentale. Scala temporale del flusso conduttivo di calore. Gradiente termico adiabatico. Gradiente del punto di fusione. Diagrammi delle geoterme all'interno della Terra. Struttura interna della Terra Equazione di Adams- Williamson. Andamento della densità con la profondità. Densità decompressa. Le fasi mineralogiche del mantello. Modello compositivo della Terra. Struttura ed asimmetrie del nucleo terrestre. Profili di  $v$ ,  $\rho$ ,  $g$  e  $P$  all'interno della Terra. Modello di Bullen e Preliminary Reference Earth Model (PREM).

## Testi

Stacey, F. D., and Davis, P. M. (2008) Physics of the Earth, Cambridge University Press. Fowler, C. M. R. (2005). The Solid Earth, Cambridge University Press.

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Metodo di insegnamento tradizionale in modalità mista. In parte vengono impartite lezioni frontali alla lavagna, fondamentalmente dedicate alla parte numerica e alle dimostrazioni matematiche, ed in parte vengono utilizzate le slides per gli argomenti più descrittivi. Le lezioni teoriche vengono alternate con lezioni dedicate alla parte di esercitazione numerica che sono finalizzate alla verifica dell'apprendimento e del problem-solving da parte degli studenti.

## Modalità di valutazione

L'esame si svolge in modalità orale finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità di descrivere sia gli aspetti formali che le implicazioni fisiche degli argomenti trattati. La durata dell'esame è di circa 45 minuti. Nella prima parte dell'esame la commissione chiede allo studente di trattare un argomento di suo interesse tra quelli descritti nel programma. Nella seconda parte dell'esame la commissione verifica la completezza ed il rigore metodologico utilizzato dallo studente nel descrivere la fenomenologia ed i principi di base della fisica del Sistema Terra.

## English

### Prerequisites

Advances courses in physics and mathematics

### Programme

Earth in the Solar System Titus-Bode Law. Terrestrial and gaseous planets. Notes on the formation of the solar system. Elements of chemistry of the solar system. Geochemical classification of the elements. Formation and differentiation of planets The Earth as a Planet Definition of planet. Kepler's laws. General features: liquid water, atmosphere, crustal dichotomy, magnetic field, internal dynamics. Earth's mass, density and moment of inertia The problem of estimating the average density of the Earth: historical notes (from Newton to Poynting). Cavendish's experiment in a modern way. Estimate of the mass of the Earth and planets - Average density of the Earth. Recalling the moment of inertia. Tensor of moments of inertia. Ellipsoid and spheroid. Moment of inertia of a solid sphere with constant density. Moments of inertia and models of planetary structures. Earth's shape and gravity The shape (figures) of the Earth .. Oblate ellipsoid and polar crushing. Earth shape and topography. Earth shape and variations of g. Acceleration and gravitational potential. Gravitational potential: Laplace equation. Gravitational potential in spherical coordinates. Gravitational potential of a solid sphere with constant density. General solution of the Laplace equation in spherical coordinates. Legendre polynomials. Spherical harmonics and Stokes coefficients. MacCullagh equation and moments of inertia. Ellipticity of the shape (figures) of the Earth. The acceleration ratio m (acceleration ratio). The geopotential. Relationship between  $J_2$ ,  $J_4$ , m and f. Calculation of the inertia ratio for the Earth. Gravity on the reference spheroid. Geocentric and geographical latitude. Clairaut formula. Normal gravity. The geoid.

Measurements of  $g$ . Absolute and relative measures. Corrections to the extent of  $g$ . Anomalies in open air and Bouguer. Non-uniqueness of the anomalies of  $g$ . Isostasy. Isostatic anomalies. Vertical movements of the crust. Isostatic compensation. Isostatic adjustments and coat viscosity. Satellite geoid measurements. Geoid ripples. Tides and land rotation Origin of the tides. Tidal potential. Components of the lunar tidal acceleration. Combination of lunar and solar tides. Terrestrial tides. Tidal friction and deceleration of terrestrial and lunar rotation. Euler nutation and Chandler swing. Solar-solar precession. Notes on the properties of minerals and rocks Crystalline structure of minerals. The rocks. Classification of rocks. Sedimentary, igneous and metamorphic rocks. Eutectics and solid solutions. Terrestrial magnetism: History - from Petrus Peregrinus to Gauss. The magnetism of the rocks Physics of magnetism. Ampere equivalence principle. Review of atomic magnetic moments. Magnetic susceptibility. Magnetic properties of matter. Diamagnetism (classical theory). Paramagnetism (classical theory). Ferromagnetism. Ferrimagnetismo. Antiferromagnetism. Parasitic ferromagnetism. Magnetic minerals. Magnetism of the rocks. Titanomagnetites and magnetic series. Magnetization of rocks. Types of magnetization. Thermo-remaining magnetization (TRM). Remaining chemical magnetization (CRM). Remaining Debris Magnetization (DRM). Notes on Paleomagnetism. Earth's magnetic field The observables of the CMT. General characteristics of the CMT. Laplace equation and CMT potential. Gauss coefficients. CMT modeled with dipoles. The terrestrial dipolar field. CMT best fit - inclined eccentric dipole. Power spectrum of the CMT. Estimated depth of the source of the main field. Secular variation. External sources of the CMT. Earth core composition. CMT models. Bullard dynamo. Self-excited dynamo model. The magnetohydrodynamic approach. Magnetohydrodynamics equations. Hydrodynamic magneto models. Magnetic measurements. Precession magnetometer. Magnetic anomalies and corrections. Terrestrial heat Earth's energy budget. Heat transmission within the Earth: conduction, convection, radiation and advection. Internal heat sources. Original heat; radiogenic heat; other heat sources. Conduction equation (Fourier equation). Heat conduction equation in three dimensions. Thermal diffusion. Adjective term. Balance geotherm. Notes on the transport of heat in the oceanic and continental lithosphere. Time scale of the conductive heat flow. Adiabatic thermal gradient. Melting point gradient. Geothermal diagrams inside the Earth. Internal structure of the Earth Adams-Williamson equation. Density trend with depth. Unzipped density. The mineralogical phases of the coat. Compositional model of the Earth. Structure and asymmetries of the Earth's core. Profiles of  $v$ ,  $\rho$ ,  $g$  and  $P$  within the Earth. Bullen model and Preliminary Reference Earth Model (PREM).

### Reference books

Stacey, F. D., and Davis, P. M. (2008) Physics of the Earth, Cambridge University Press. Fowler, C. M. R. (2005). The Solid Earth, Cambridge University Press.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410097 - FOTONICA QUANTISTICA

**Docente:** GIANANI ILARIA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Fisica del laser: richiami alla radiazione di corpo nero, equazioni di Einstein, eccitazione di atomi a due livelli, attenuazione e guadagno. Livelli d'energia e transizioni in semiconduttori. Comportamento del laser cw. Cenni ai laser ultrabrevi. Coerenza e quantizzazione del campo e.m.: teoria classica delle fluttuazione e della coerenza al primo e secondo ordine. Campo e.m. come oscillatore armonico, quantizzazione e teoria quantistica della coerenza. Stati numero, coerenti e termici. Rappresentazione di interazione: il beam splitter e gli stati squeezed. Rivelazione omodina e fotoconteggio. Funzioni di quasi-probabilità. Ottica nonlineare: introduzione e trattamento classico. Cenni al trattamento quantistico. Effetti nonlineari del secondo ordine: generazione di seconda armonica, frequenza somma e frazionamento parametrico. Effetti del terzo ordine: effetto Kerr ottico. Cenni alla filamentazione. Equazione di Schroedinger nonlineare e solitoni temporali. Correlazioni quantistiche: problema del realismo locale in meccanica quantistica e paradosso EPR-Bohm. Diseguaglianza di Bell e test sperimentali con fotoni polarizzati.

#### Testi

R. Loudon, The quantum theory of light. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6 O. Svelto, Principles of lasers. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 R. Boyd, Nonlinear optics. Capp. 1, 2, 7 J.S. Bell, Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cap 2

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso prevede una serie di lezioni frontali, in cui il docente espone gli argomenti del corso.

#### Modalità di valutazione

Esame finale in forma orale: verrà valutata la conoscenza degli argomenti, la chiarezza espositiva e la capacità di trovare connessioni tra i differenti argomenti del corso. La prova orale comincerà con una domanda a discrezione della commissione, e da lì si procederà con domande di ragionamento.

### English

#### Prerequisites

none

## Programme

The physics of laser: blackbody radiation, Einstein equation, interaction of light with a two-level atom, gain and attenuation. Optical transitions in semiconductors. CW and pulsed operation of a laser. Optical coherence and quantisation of the e.m. field: classical theory of fluctuations, first- and second-order coherence. E.m. field as a harmonic oscillator, quantisation and quantum theory of optical coherence. Number states, coherent states, and thermal states. Interaction picture: beam splitter and squeezing hamiltonians. Homodyne detection and photon counting. Quasi-probability distributions. Nonlinear optics: introduction and classic treatment. Notes on quantum treatment. Nonlinear second-order effects: second harmonic generation, sum frequency, and parametric fractionation. Third-order effects: optical Kerr effect. Notes on filamentation. Nonlinear Schroedinger equation and temporal solitons. Quantum correlations: local realism problem in quantum mechanics and the EPR-Bohm paradox. Bell inequality and experimental tests with polarized photons.

## Reference books

R. Loudon, The quantum theory of light. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6 O. Svelto, Principles of lasers. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 R. Boyd, Nonlinear optics. Capp. 1, 2, 7 J.S. Bell, Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cap 2

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO

**Docente:** FRANCESCHINI ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

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

#### Programma

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

#### Testi

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

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

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

#### Modalità di valutazione

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

### English

#### Prerequisites

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

#### Programme

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

#### Reference books

Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - Introduzione all'analisi degli errori : lo studio delle

incertezze nelle misure fisiche - Zanichelli Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410429 - FS510 - METODO MONTECARLO

**Docente:** BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA

### Italiano

#### Prerequisiti

informazioni già presenti nella scheda del docente titolare

#### Programma

informazioni già presenti nella scheda del docente titolare

#### Testi

informazioni già presenti nella scheda del docente titolare

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

informazioni già presenti nella scheda del docente titolare

### English

#### Prerequisites

information already present in the teacher's profile

#### Programme

information already present in the teacher's profile

#### Reference books

information already present in the teacher's profile

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410424 - IN450- ALGORITMI PER LA CRITTOGRAFIA

**Docente:** PEDICINI MARCO

### Italiano

#### Prerequisiti

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Programma

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Testi

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

## English

### Prerequisites

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

### Programme

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

### Reference books

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410426 - IN480 - CALCOLO PARALLELO E DISTRIBUITO

**Docente:** LOMBARDI FLAVIO

## Italiano

### Prerequisiti

fondamenti di programmazione C

### Programma

Testi da definire

### Testi

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

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

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

## English

### Prerequisites

basic C programming

### Programme

-

### Reference books

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

### Reference bibliography

-

### Study modes

-  
**Exam modes**  
-

## 20410427 - IN490 - LINGUAGGI DI PROGRAMMAZIONE

**Docente:** LOMBARDI FLAVIO

### Italiano

#### Prerequisiti

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Programma

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Testi

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

### English

#### Prerequisites

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

#### Programme

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

#### Reference books

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

#### 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

-

## 20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA

**Docente:** ROSSI MARIANNA NICOLETTA

## Italiano

### Prerequisiti

si rimanda alla pagina

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62> del CdL in Sc. Biologiche, che offre l'insegnamento

### Programma

si rimanda alla pagina

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62> del CdL in Sc. Biologiche, che offre l'insegnamento

### Testi

si rimanda alla pagina

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62> del CdL in Sc. Biologiche, che offre l'insegnamento

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

**Modalità erogazione**

si rimanda alla pagina

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62>  
del CdL in Sc. Biologiche, che offre l'insegnamento

**Modalità di valutazione**

si rimanda alla pagina

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62>  
del CdL in Sc. Biologiche, che offre l'insegnamento

**English****Prerequisites**

Please refer to the page

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62>  
of the Degree Course in Biological Sciences, which offers the teaching of

**Programme**

Please refer to the page

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62>  
of the Degree Course in Biological Sciences, which offers the teaching of

**Reference books**

Please refer to the page

<https://www.uniroma3.it/insegnamento-erogato/dipartimento-di-scienze//2023-2024/scienze-biologiche-0580706201300001/d56a627b-e9f4-49f6-abf5-62>  
of the Degree Course in Biological Sciences, which offers the teaching of

**Reference bibliography**

-

**Study modes**

-

**Exam modes**

-

**20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE****Docente:** DI MICCO BIAGIO**Italiano****Prerequisiti**

nessuno

**Programma**

Programma delle lezioni in aula - Cenni introduttivi sui rivelatori di particelle – fisica dei rivelatori utilizzati nell'attività di laboratorio (scintillatori plastici, scintillatori liquidi, rivelatori a gas,...) – cenni sui dispositivi elettronici necessari per la lettura dei rivelatori, per il sistema di trigger e il sistema di acquisizione dati – richiami di programmazione – richiami di statistica per l'analisi dei dati. Programma dell'attività in laboratorio (equivalente a circa 5 cfu) • stima della risposta dei rivelatori utilizzati – verifica del segnale misurato – messa in opera dei rivelatori • set up dell'apparato – formazione del trigger • set up del sistema di acquisizione dati e sviluppo del software di analisi • misura della grandezza proposta (vita media del mesone  $\mu$  e grandezze correlate, spettro dell'elettrone del decadimento del  $\mu$ , spettro dei raggi cosmici duri, ...) lo studente è chiamato a svolgere da solo una parte dell'attività sperimentale proposta in modo che possa confrontarsi direttamente con le problematiche di laboratorio. la misura finale verrà svolta in gruppo

**Testi**

TESTI CONSIGLIATI: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

**Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

**Modalità erogazione**

Il corso è formato da una serie di lezioni preliminari in aula dedicate alla spiegazione dei concetti necessari per arrivare alla misura finale svolta in laboratorio. Le lezioni sono accompagnate da esercizi numerici corretti di volta in volta. Il corso si articola poi con l'attività di laboratorio per la misura della vita media del mesone  $\mu$

**Modalità di valutazione**

Lo studente prepara la relazione finale di laboratorio nella quale discute le scelte sperimentali adottate, le misure e le loro incertezze, e il valore finale ottenuto per la vita media del mesone  $\mu$ .

**English**

## Prerequisites

none

## Programme

program of lessons in the classroom • introductory notes on particle detectors • physics of the detectors used in the laboratory activity (plastic sparklers, liquid sparklers, detectors a gas, ...) • notes on electronic devices required for reading the detectors, for the trigger and the system data acquisition system • calls to programming • statistical calls for the analysis data. Program of the activity in the laboratory (equivalent a about 5 cfu) • estimate of the response of the detectors used - verification of the measured signal - setting of the detectors • set up of the apparatus - trigger training • set up of the data acquisition and development system of analysis software • measurement of the proposed greatness (vita media del mesone mu and related quantities, spectrum of the electron of the decay of the mu, spectrum of hard cosmic rays, ...) the student is called to perform a part only of the experimental activity proposed so that it may compare directly with the issues of laboratory. the final measure will be carried out in the group

## Reference books

RECOMMENDED TEXTS: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE

**Docente:** MARI STEFANO MARIA

## Italiano

### Prerequisiti

non richiesti

### Programma

PROGRAMMA DELLE LEZIONI IN AULA (EQUIVALENTE A CIRCA 2 CFU) CENNI INTRODUTTIVI SUI RIVELATORI DI PARTICELLE – FISICA DEI RIVELATORI UTILIZZATI NELL'ATTIVITA' DI LABORATORIO (SCINTILLATORI PLASTICI, SCINTILLATORI LIQUIDI, RIVELATORI A GAS,...) – CENNI SUI DISPOSITIVI ELETTRONICI NECESSARI PER LA LETTURA DEI RIVELATORI, PER IL SISTEMA DI TRIGGER E IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI – RICHIAMI DI PROGRAMMAZIONE – RICHIAMI DI STATISTICA PER L'ANALISI DEI DATI. PROGRAMMA DELL'ATTIVITA' IN LABORATORIO (EQUIVALENTE A CIRCA 6-7 CFU) Misura della vita media del mesone mu DEL SEGNALE MISURATO – MESSA IN OPERA DEI RIVELATORI • SET UP DELL'APPARATO – FORMAZIONE DEL TRIGGER • SET UP DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI E SVILUPPO DEL SOFTWARE DI ANALISI • MISURA DELLA GRANDEZZA PROPOSTA (VITA MEDIA DEL MESONE MU E GRANDEZZE CORRELATE, SPETTRO DELL'ELETTRONE DEL DECADIMENTO DEL MU, SPETTRO DEI RAGGI COSMICI DURI, ...) LO STUDENTE E' CHIAMATO A SVOLGERE DA SOLO UNA PARTE DELL'ATTIVITA' SPERIMENTALE PROPOSTA IN MODO CHE POSSA CONFRONTARSI DIRETTAMENTE CON LE PROBLEMATICHE DI LABORATORIO. LA MISURA FINALE VERRA' SVOLTA IN GRUPPO

### Testi

W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso e' formato da una serie di lezioni preliminari in aula dedicate alla spiegazione dei concetti necessari per arrivare alla misura finale svolta in laboratorio. Le lezioni sono accompagnate da esercizi numerici corretti di volta in volta. Il corso si articola poi con l'attività di laboratorio per la misura della vita media del mesone mu

### Modalità di valutazione

Lo studente prepara la relazione finale di laboratorio nella quale discute le scelte sperimentali adottate, le misure e le loro incertezze, e il valore finale ottenuto per la vita media del mesone mu.

## English

### Prerequisites

not required

### Programme

COURSE CONTENT Lessons (2CFU): Introduction to particle detectors (scintillators, gaseous chambers, solid state) Introduction to electronic devices for particle physics Basic software development for DAQ system and data analysis Lab Activity (6CFU):

Measurement of the Muon life

### Reference books

W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410459 - MC430 - LABORATORIO DI DIDATTICA DELLA MATEMATICA

**Docente:** FALCOLINI CORRADO

### 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

-

## 20401425 - MECCANICA STATISTICA

**Docente:** LUPI LAURA

### 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

-

## 20402354 - MECCANICA STATISTICA

**Docente:** LUPI LAURA

### Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Programma I modulo (6 CFU) Richiami di termodinamica. Potenziali termodinamici. Transizioni di fase ed equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e stabilità. Transizioni di fase e limite termodinamico. Derivazione microscopica dell'equazione di Van der Waals. Comportamento al punto critico dell'equazione di Van der Waals. Teoria di Curie-Weiss del ferromagnetismo. Teoria di Landau delle transizioni di seconda specie. Criterio di Ginzburg per la validità della teoria di campo medio. Il ruolo della simmetria e della dimensionalità: il teorema di Mermin-Wagner. Gruppo di rinormalizzazione. Trasformazione di Kadanoff-Wilson. Calcolo dei punti fissi per il modello di Landau-Wilson e sviluppo in epsilon.

### Testi

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press 2015 ISBN: 9781107039407

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni tradizionali alla lavagna

### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

### English

### Prerequisites

none

### Programme

1st module program (6 credits) Introduction to thermodynamics. Thermodynamic potentials. Phase transitions and Van der Waals equation. Fluctuations and stability. Phase transitions and thermodynamic limit. Microscopic derivation of the Van der Waals equation. Critical point behavior of the Van der Waals equation. Curie-Weiss theory of ferromagnetism. Landau theory of second species transitions. Ginzburg criterion for the validity of the middle field theory. The role of symmetry and dimensionality: the theorem of Mermin-Wagner. Renormalization team. Kadanoff-Wilson transformation. Calculation of fixed points for the Landau-Wilson model and development in epsilon.

### Reference books

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press 2015 ISBN: 9781107039407

### Reference bibliography

-  
**Study modes**

-

**Exam modes**

-

## 20430010 - Metodi Fisici per i Beni Culturali

**Docente:** SCHIRRIPA SPAGNOLO GIUSEPPE

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno. Possono accedere al corso anche laureati di discipline non STEM

#### Programma

Introduzione al corso. Panoramica delle procedure di indagine per studi di autenticità dei manufatti. Tecniche non distruttive, distruttive e micro-distruttive. Metodi di datazione (radiocarbonio, termoluminescenza, analisi isotopica, etc). Tecniche di imaging (riflettografia IR e UV, Fluorescenza UV, radiografia, termografia, etc). Tecniche multispettrali. Tecniche di microscopia. Tecniche spettroscopiche e analitiche (Fluorescenza di raggi X, Diffrazione raggi X, assorbimento infrarosso, Raman, Ion Beam Analysis, PIXE; PIGE, etc). Esperienze di laboratorio e casi studio.

#### Testi

"Elementi di Archeometria -Metodi fisici per i Beni Culturali", autori Martini, Castellano, Sibilìa, ed. Egea e materiale fornito dai docenti

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

valutazione in itinere e prova finale orale

### English

#### Prerequisites

No one. Graduates from non-STEM disciplines can also access the course.

#### Programme

Introduction to the course. Overview of investigation procedures for authenticity studies of artifacts. Non-destructive, destructive, and micro-destructive techniques. Dating methods (radiocarbon, thermoluminescence, isotopic analysis, etc.). Imaging techniques (IR and UV reflectography, UV fluorescence, radiography, thermography, etc.). Multispectral techniques. Microscopy techniques. Spectroscopic and analytical techniques (X-ray fluorescence, X-ray diffraction, infrared absorption, Raman, Ion Beam Analysis, PIXE; PIGE, etc.). Laboratory experiences and case studies.

#### Reference books

"Elements of Archeometry - Physical Methods for Cultural Heritage," authors Martini, Castellano, Sibilìa, published by Egea and material provided by the instructors.

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20430010 - Metodi Fisici per i Beni Culturali

**Docente:** SODO ARMIDA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno. Possono accedere al corso anche laureati di discipline non STEM

#### Programma

Introduzione al corso. Panoramica delle procedure di indagine per studi di autenticità dei manufatti. Tecniche non distruttive, distruttive e micro-distruttive. Metodi di datazione (radiocarbonio, termoluminescenza, analisi isotopica, etc). Tecniche di imaging (riflettografia IR e UV, Fluorescenza UV, radiografia, termografia, etc). Tecniche multispettrali. Tecniche di microscopia. Tecniche spettroscopiche e analitiche (Fluorescenza di raggi X, Diffrazione raggi X, assorbimento infrarosso, Raman, Ion Beam Analysis, PIXE; PIGE, etc).

Esperienze di laboratorio e casi studio.

### Testi

"Elementi di Archeometria -Metodi fisici per i Beni Culturali", autori Martini, Castellano, Sibilia, ed. Egea e materiale fornito dai docenti

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

valutazione in itinere e prova finale orale

### English

### Prerequisites

No one. Graduates from non-STEM disciplines can also access the course.

### Programme

Introduction to the course. Overview of investigation procedures for authenticity studies of artifacts. Non-destructive, destructive, and micro-destructive techniques. Dating methods (radiocarbon, thermoluminescence, isotopic analysis, etc.). Imaging techniques (IR and UV reflectography, UV fluorescence, radiography, thermography, etc.). Multispectral techniques. Microscopy techniques. Spectroscopic and analytical techniques (X-ray fluorescence, X-ray diffraction, infrared absorption, Raman, Ion Beam Analysis, PIXE; PIGE, etc.). Laboratory experiences and case studies.

### Reference books

"Elements of Archeometry - Physical Methods for Cultural Heritage," authors Martini, Castellano, Sibilia, published by Egea and material provided by the instructors.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA

**Docente:** RUOCCO ALESSANDRO

### Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Note di ricapitolazione Probabilità di transizione. Approssimazione impulsiva. Approssimazione adiabatica. Regola d'oro di Fermi. Sezioni d'urto integrali e differenziali (BJ 4.1, 4.2, 4.3, Appendice I) Fenomenologia delle distribuzioni in energia ed angolo degli elettroni risultanti da eventi di fotoassorbimento e da impatto di particelle cariche in atomi, molecole, solidi. Spettroscopie collisionali La sezione d'urto di processi di collisione, sezioni d'urto integrali e differenziali (BJ appendice 2) Diffusione di particelle da un potenziale rigido, il metodo delle onde parziali, shift di fase (BJ da 11.2 a 11.3 ) Equazione integrale dello scattering, prima approssimazione di Born (BJ 11.4, 11.5, 12.2), approssimazione di Wentzel. LEED cinematico, lunghezza di coerenza (Lu da 4.1 a 4.2, 4.5) LEED dinamico (Lu 4.4, Panel VIII) Eccitazione e ionizzazione per impatto elettronico, limite dipolare, EELS (BJ 12.3 e 12.4) Forza dell'oscillatore generalizzata Spettroscopie di perdita di energia di elettroni nei solidi, teoria dielettrica. Scattering di volume, ( EELS) (Lu 4.5, 4.6.1, 4.8, Panel IX) Canali risonanti. Interferenze fra canali del discreto e del continuo, profili di Fano (BJ 11.3) Spettroscopie di fotoemissione e fotoassorbimento Assorbimento della radiazione elettromagnetica nella materia. Funzione dielettrica di un sistema di oscillatori. Scattering elastico ed inelastico della radiazione elettromagnetica (SM) Operatore di interazione radiazione materia. Polarizzazione. Approssimazione di dipolo elettrico, dipolo magnetico, quadrupolo elettrico. Regole di selezione. (BJ 4.8, CM) Fotoemissione e fotoassorbimento: sezioni d'urto totali e differenziali, il punto di vista atomico (BJ 4.7, 4.8, ) Fenomenologia degli esperimenti di fotoassorbimento e fotoemissione (Hu 1, CL 1) EXAFS ( Lu Panel VII) e NEXAFS Interpretazione degli spettri di fotoemissione. Teorema di Koopmans, picchi satelliti, limite dell'interpretazione a particelle indipendenti. Effetti a molti corpi. Chemical shift (Lu 6.3.5, Hu 1.4,1.5,2.1,2.2) Fotoemissione nei solidi, il modello a tre step. Esempi di applicazioni. La fotoemissione inversa (cenni) (Lu 6.3, per approfondimenti Hu 6) Fotoemissione risolta in angolo. Fotoemissione di valenza e struttura a bande. Fotoemissione di core, photoelectron diffraction. Esempi di applicazioni (Lu 6 e Panel XI, Hu 7.1, 7.2, 7.3.1) Cenni di microscopia a scansione a sonda ( STM, AFM, SNOM) (Lu Panel VI e appunti)

### Testi

BJ B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons CM C.M. Bertoni, Radiation-matter interaction: absorption, photoemission, scattering , in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003) Lu H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer study edition, 1995 Hu S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 SM S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and

G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003)

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula con ausilio di video proiezione e esercitazioni in laboratorio. Le lezioni in laboratorio prevedono la pratica diretta dello studente su microscopi didattici.

### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

### English

### Prerequisites

none

### Programme

Basic concepts and potential scattering in atomic collision. Electron-atom collision. Scattering from surfaces. Energy loss spectroscopy. Dielectric theory. Resonant Channels, Fano profiles. Photoemission and photoabsorption spectroscopies. Phenomenology of photoemission and photoabsorption experiments. The Koopmans theorem, satellite peaks, Chemical shift. Photoemission from solids, the three-step model. Angle resolved photoemission, photoelectron diffraction. Exafs and Nexafs. Interpretation of photoemission spectra. Koopmans' theorem, satellite peaks, limit of interpretation to independent particles. Many-body effects. Chemical shift (Lu 6.3.5, Hu 1.4, 1.5, 2.1, 2.2) Photoemission in solids, the three-step model. Examples of applications. Reverse photoemission (outline) (Lu 6.3, for further information Hu 6) Photoemission resolved in the corner. Valence photoemission and band structure. Photoemission of cores, photoelectron diffraction. Examples of applications (Lu 6 and Panel XI, Hu 7.1, 7.2, 7.3.1) Outline of scanning probe microscopy (STM, AFM, SNOM) (Lu Panel VI and notes)

### Reference books

BJ B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons CM C.M. Bertoni, Radiation-matter interaction: absorption, photoemission, scattering , in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003) Lu H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer study edition, 1995 Hu S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 SM S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti

**Docente:** LAURO SEBASTIAN EMANUEL

### Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Richiami sull'analisi dati di interesse geofisico in ambiente Python. Tecniche di misura di laboratorio, in campo e da satellite. Proprietà elettriche e magnetiche dei geomateriali. Misure elettriche e magnetiche nel dominio del tempo e della frequenza. Attività di laboratorio: utilizzo del ponte LCR e del Vector Network Analyzer per misure di permittività dielettrica e di permeabilità magnetica. Propagazione elettromagnetica nei geomateriali. Radar da satellite e sottosuperficiale: basi teoriche ed applicazioni in campo ambientale. Attività di laboratorio: Tecniche di analisi dati e stima dei parametri fisici; metodi di inversione.

### Testi

Dispense del docente;

### Bibliografia di riferimento

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

### Modalità erogazione

Lezioni frontali con prevalente utilizzo di slides che vengono contestualmente distribuite agli studenti. Vengono descritti in dettaglio tre esperimenti di geofisica che gli studenti devono condurre in proprio. Per ogni esperimento è richiesto agli studenti di: organizzare l'esperimento, acquisire i dati, analizzare i dati attraverso l'utilizzo di software dedicati (Matlab), interpretare i risultati. Per ogni esperimento viene richiesta una relazione di laboratorio dettagliata che verrà valutata al fine della verifica finale.

### Modalità di valutazione

L'esame finale si svolge in forma mista; ne è parte integrante la valutazione dell'attività di laboratorio, attraverso la verifica delle relazioni di laboratorio che vengono singolarmente valutate, e la prova orale finale nella quale viene chiesto alla studente di descrivere i fondamenti teorici delle misure effettuate nei diversi esperimenti e di discutere i risultati ottenuti.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Recall on the analysis of data of geophysical interest in the Python environment. Laboratory, field and satellite measurement techniques. Electrical and magnetic properties of geomaterials. Electrical and magnetic measurements in the time and frequency domain. Laboratory activities: use of the LCR bridge and the Vector Network Analyzer for dielectric permittivity and magnetic permeability measurements. Electromagnetic propagation in geomaterials. Satellite and subsurface radar: theoretical bases and applications in the environmental field. Laboratory activities: Data analysis techniques and estimation of physical parameters; inversion methods.

### Reference books

Lecture notes;

### Reference bibliography

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410897 - Metodi sperimentali in Fisica della Terra, del Clima e dei Pianeti

**Docente:** LAURO SEBASTIAN

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Richiami sull'analisi dati di interesse geofisico in ambiente Python. Tecniche di misura di laboratorio, in campo e da satellite. Proprietà elettriche e magnetiche dei geomateriali. Misure elettriche e magnetiche nel dominio del tempo e della frequenza. Attività di laboratorio: utilizzo del ponte LCR e del Vector Network Analyzer per misure di permittività dielettrica e di permeabilità magnetica. Propagazione elettromagnetica nei geomateriali. Radar da satellite e sottosuperficiale: basi teoriche ed applicazioni in campo ambientale. Attività di laboratorio: Tecniche di analisi dati e stima dei parametri fisici; metodi di inversione.

### Testi

Dispense del docente;

### Bibliografia di riferimento

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

### Modalità erogazione

Lezioni frontali con prevalente utilizzo di slides che vengono contestualmente distribuite agli studenti. Vengono descritti in dettaglio tre esperimenti di geofisica che gli studenti devono condurre in proprio. Per ogni esperimento è richiesto agli studenti di: organizzare l'esperimento, acquisire i dati, analizzare i dati attraverso l'utilizzo di software dedicati (Matlab), interpretare i risultati. Per ogni esperimento viene richiesta una relazione di laboratorio dettagliata che verrà valutata al fine della verifica finale.

### Modalità di valutazione

L'esame finale si svolge in forma mista; ne è parte integrante la valutazione dell'attività di laboratorio, attraverso la verifica delle relazioni di laboratorio che vengono singolarmente valutate, e la prova orale finale nella quale viene chiesto alla studente di descrivere i fondamenti teorici delle misure effettuate nei diversi esperimenti e di discutere i risultati ottenuti.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Recall on the analysis of data of geophysical interest in the Python environment. Laboratory, field and satellite measurement techniques. Electrical and magnetic properties of geomaterials. Electrical and magnetic measurements in the time and frequency domain. Laboratory activities: use of the LCR bridge and the Vector Network Analyzer for dielectric permittivity and magnetic

permeability measurements. Electromagnetic propagation in geomaterials. Satellite and subsurface radar: theoretical bases and applications in the environmental field. Laboratory activities: Data analysis techniques and estimation of physical parameters; inversion methods.

### Reference books

Lecture notes;

### Reference bibliography

John F. Claerbout, Imaging the Earth's Interior, Blackwell A. R. Von Hippel, Dielectric and Waves, John Wiley & Sons. G. Franceschetti, Campi Elettromagnetici, Bollati Boringhieri Long and Ulaby, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Artech House A. Sihvola, Electromagnetic Mixing Formulas and Applications, IET

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410438 - MF410 - FINANZA COMPUTAZIONALE

**Docente:** CESARONE FRANCESCO

### Italiano

#### Prerequisiti

Elementi di base di Matematica Generale e di Matematica Finanziaria.

#### Programma

MODULO 1 1 Una breve introduzione a MATLAB 1.1 Fondamenti di MATLAB: Elementi preliminari; Assegnamento di variabili; Workspace; Operazioni aritmetiche; Vettori e matrici; Operazioni standard di algebra lineare; Moltiplicazione e divisione elemento per elemento; Operatore due punti (:); Funzioni predefinite; Function inline; Anonymous Function. 1.2 M-file: Script e Function 1.3 Fondamenti di programmazione: schemi if, else, e elseif; cicli for; cicli while 1.4 Grafica in Matlab 1.5 Esercizi preliminari sulla programmazione 1.6 Esercizi sulle basi di valutazione finanziaria MODULO 2 2 Elementi preliminari di Teoria delle Probabilità e Statistica 2.1 Variabili aleatorie 2.2 Distribuzioni di probabilità 2.3 Variabile aleatoria continua 2.4 Momenti di ordine superiore e indici sintetici di una distribuzione 2.5 Alcune distribuzioni di probabilità: Uniforme, Normale, Log-normale, Chi-quadro, t di Student 3 Programmazione Lineare e Non-lineare 3.1 Alcune function incorporate in Matlab per problemi di ottimizzazione 3.2 Ottimizzazione Multi-obiettivo: Determinazione della frontiera efficiente 4 Ottimizzazione di Portafoglio 4.1 Portafoglio di azioni: Prezzi e rendimenti 4.2 Analisi rischio-rendimento: Media-Varianza; Effetti della diversificazione su un portafoglio equi-pesato; portafogli Media -MAD; Media -MinMax; VaR; Media -CVaR; Media -Gini 4.3 Immunizzazione di portafogli obbligazionari MODULO 3 5 Ulteriori elementi di Teoria delle Probabilità e Statistica 5.1 Introduzione alla simulazione Monte Carlo 5.2 Processi stocastici: Moto browniano; Lemma di Ito; Moto browniano geometrico 6 Prezzo di derivati con sottostante azionario 6.1 Modello binomiale (CRR): Replicazione di portafogli di azioni e obbligazioni; Calibrazione del modello; Caso multi-periodale 6.2 Modello Black-Scholes: Assunzioni del modello; Prezzo di una call europea; Equazione del prezzo di una call; Volatilità implicita 6.3 Pricing di opzioni con il metodo Monte Carlo: Soluzione in forma integrale; Derivati Path Dependent

#### Testi

F Cesarone (2020), Computational Finance. MATLAB oriented modeling, Routledge-Giappichelli Studies in Business and Management, ISBN 978-0-367-49303-5 <https://www.giappichelli.it/computational-finance>

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le lezioni si terranno al Centro di Calcolo secondo il seguente calendario: Martedì 12:30-14:30 Mercoledì 15:00-17:00 Giovedì 10:30-12:30 Gli strumenti utilizzati saranno i seguenti: - slide; - lezione in presenza e in streaming con interazione diretta con gli studenti tramite voce e chat; - lavagna digitale; - programmazione live su Matlab (<https://www.uniroma3.it/servizi/software-in-convenzione/mathworks-campus/>); - libro di testo del docente: <http://host.uniroma3.it/docenti/cesarone/Books.htm>

#### Modalità di valutazione

L'esame si articola in una prova scritta ed una orale. La prova scritta consiste nella risoluzione su Matlab di tre esercizi, uno per ciascun modulo. La prova orale tratta tutti gli argomenti del programma e può comprendere sia domande di teoria sia esercizi. Alla prova orale sono ammessi gli studenti che abbiano riportato un punteggio non inferiore a 16/30 nella prova scritta. Gli studenti che abbiano riportato un punteggio non inferiore a 18/30 possono non sostenere la prova orale ed ottenere un voto all'esame corrispondente al voto della prova scritta con un limite superiore di 24/30 (in caso di voto alla prova scritta maggiore o uguale a 24/30); per ambire ad un voto superiore la prova orale è obbligatoria.

### English

#### Prerequisites

#### Programme

MODULE 1 1 A rapid introduction to MATLAB 1.1 MATLAB basics: Preliminary elements; Variable assignment; Workspace; Arithmetic operations; Vectors and matrices; Standard operations of linear algebra; Element-by-element multiplication and division; Colon (:); operator; Predefined function; inline Function; Anonymous Function. 1.2 M-file: Script and Function 1.3 Programming fundamentals: if,

else, and elseif scheme; for loops; while loops 1.4 Matlab graphics 1.5 Preliminary exercises on programming 1.6 Exercises on the financial evaluation basics MODULE 2 2 Preliminary elements on Probability Theory and Statistics 2.1 Random variables 2.2 Probability distributions 2.3 Continuous random variable 2.4 Higher-order moments and synthetic indices of a distribution 2.5 Some probability distributions: Uniform, Normal, Log-normal, Chi-square, Student-t 3 Linear and Non-linear Programming 3.1 Some Matlab built-in functions for optimization problems 3.2 Multi-objective optimization: Determining the efficient frontier 4 Portfolio Optimization 4.1 Portfolio of equities: Prices and returns 4.2 Risk-return analysis: Mean-Variance; Effects of the diversification in an Equally Weighted portfolio; Mean-MAD; Mean-MinMax; VaR; Mean-CVaR; Mean-Gini portfolios 4.3 Bond portfolio immunization MODULE 3 5 Further elements on Probability Theory and Statistics 5.1 Introduction to the Monte Carlo simulation 5.2 Stochastic processes: Brownian motion; Ito's Lemma; Geometrical Brownian motion 6 Pricing of derivatives with an underlying security 6.1 Binomial model (CRR): A replicating portfolio of stocks and bonds; Calibration of the model; Multi-period case 6.2 Black-Scholes model: Assumptions of the model; Pricing of a European call; Pricing equation for a call; Implied Volatility 6.3 Option Pricing with Monte Carlo Method: Solution in integral form; Path Dependent Derivatives

### Reference books

F Cesarone (2020), Computational Finance. MATLAB oriented modeling, Routledge-Giappichelli Studies in Business and Management, ISBN 978-0-367-49303-5 <https://www.giappichelli.it/computational-finance>

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402155 - MISURE ASTROFISICHE

**Docente:** LA FRANCA FABIO

### 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

-

## 20402155 - MISURE ASTROFISICHE

**Canale:**N0

**Docente:** LA FRANCA FABIO

### Italiano

## Prerequisiti

nessuno

## Programma

PROGRAMMA: Parte I: Problematica Astrofisica: Nuclei Galattici Attivi e Galassie 1. Definizione e classificazione: Paradigma del BH, accrescimento, AGN Radio Loud/Radio quiet, Modello Unificato 2. Astrofisica degli AGN: Proprietà degli AGN-RQ in banda X, modelli di emissione: Comptonizzazione, proprietà di assorbimento e outflows 3. Astrofisica degli AGN: componenti di riflessione nello spettro in banda X, osservazione di effetti relativistici nello spettro in banda X 4. Spettri di AGN e Galassie nella banda ottica e NIR Parte II: Introduzione ai rivelatori e telescopi in banda X ed ottica 1. telescopi ottici. Principi base e tecniche di rivelazione 2. rivelatori in banda X: principi base e tecniche di rivelazione 3. rivelatori a stato solido, Charged Coupled Devices (CCD) 4. sistemi ottici collimati e focalizzati 5. caratteristiche dei telescopi X: efficienza, sensibilità, risoluzione di energia, risoluzione angolare, area efficace 6. I telescopi spaziali ESA/XMM-Newton, NASA/Chandra e NASA/NuStar Parte III: Analisi Dati 1. strumenti di indagine: studio della distribuzione di energia (spettro di emissione), studio del comportamento temporale (curva di luce), studio della variabilità (spettro di potenza e riverbero) 2. errori statistici ed errori sistematici 3. background 4. rapporto segnale rumore S/N 5. osservazione e massimizzazione del S/N Parte IV: Tutorial di analisi dati - sessione XMM-epic 1. ricerca dei dati in archivio 2. analisi dell'immagine: DS9 3. analisi dello spettro: xspec 4. analisi Temporale: xronos Parte V - analisi dati in banda ottica e NIR

## Testi

dispense a cura del docente del corso

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Durante la prima parte del corso (Parte I e Parte II del Programma) verrà svolta una lezione tradizionale in aula mediante l'ausilio di proiettore e sessioni di domande e risposte. La seconda parte del corso (Parte III, Parte IV e Parte V del programma) verrà svolta in laboratorio informatico con l'ausilio di pc per la riduzione ed analisi dei dati strofisici da satellite (telescopi in banda X) e da terra (telescopi Ottici).

## Modalità di valutazione

Esame finale in forma orale. Il/La candidato/a presenterà una problematica scientifica a sua scelta discussa durante il corso.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Part I: Astrophysics Problem: Active Galactic Nuclei and Galaxies 1. Definition and classification: BH paradigm, growth, AGN Radio Loud / Radio quiet, Unified Model 2. AGN astrophysics: X-band AGN-RQ properties, emission models: Comptonization, absorption properties and outflows 3. AGN astrophysics: reflection components in the X-band spectrum, observation of relativistic effects in the X-band spectrum 4. Spectra of AGN and Galaxies in the optical and NIR band Part II: Introduction to X-band and optical detectors and telescopes 1. optical telescopes. Basic principles and techniques of detection 2. X-band detectors: basic principles and detection techniques 3. solid state detectors, Charged Coupled Devices (CCD) 4. collimated and focused optical systems 5. X telescope features: efficiency, sensitivity, energy resolution, angular resolution, effective area 6. The ESA / XMM-Newton, NASA / Chandra and NASA / NuStar space telescopes Part III: Data Analysis 1. investigation tools: study of energy distribution (emission spectrum), study of temporal behavior (light curve), study of variability (power spectrum and reverberation) 2. statistical errors and systematic errors 3. background 4. S / N signal to noise ratio 5. observation and maximization of the S / N Part IV: Data analysis tutorial - XMM-epic session 1. search for archived data 2. Image analysis: DS9 3. spectrum analysis: xspec 4. Temporal analysis: xronos Part V - data analysis in optical and NIR band

### Reference books

handouts by the course teacher

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410499 - Principi di Astrofisica

**Docente:** LA FRANCA FABIO

## Italiano

### Prerequisiti

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### Programma

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### Testi

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### English

### Prerequisites

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Programme

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Reference books

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410018 - PRINCIPI DI ASTROFISICA-MODULO A

**Docente:** LA FRANCA FABIO

### Italiano

### Prerequisiti

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### Programma

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### Testi

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### English

### Prerequisites

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Programme

-

### Reference books

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410614 - Principi di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle

**Docente:** DI NARDO ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Programma

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Testi

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### English

#### Prerequisites

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

#### Programme

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

#### Reference books

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

#### Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410720 - Principi di fisica Terrestre e Cambiamenti Climatici

**Docente:** PETTINELLI ELENA

### Italiano

#### Prerequisiti

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Programma

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Testi

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### English

### Prerequisites

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Programme

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Reference books

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410498 - Principi di Materia Condensata

**Docente:** DE SETA MONICA

### Italiano

#### Prerequisiti

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Programma

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Testi

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal CdL triennale in Fisica; si invita a consultare il relativo Regolamento Didattico L-30 Fisica

### English

#### Prerequisites

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

#### Programme

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

#### Reference books

teaching offered by the Bachelor's degree in Physics; please refer to the related Teaching Regulations L-30 Physics

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410584 - RETI COMPLESSE

**Docente:** GUARINO STEFANO

### Italiano

#### Prerequisiti

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Programma

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Testi

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Computazionali; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### English

#### Prerequisites

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

#### Programme

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

#### Reference books

Teaching offered by the Master's degree course in Computational Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

### 20410891 - SISMOLOGIA OSSERVAZIONALE

**Docente:** CAMMARANO FABIO

#### Italiano

#### Prerequisiti

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Programma

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Testi

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Testi da definire

#### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

#### English

#### Prerequisites

Teaching offered by the Master's degree course in Geological Sciences; all information can be viewed in the relevant Educational Regulations.

#### Programme

Teaching offered by the Master's degree course in Geological Sciences; all information can be viewed in the relevant Educational Regulations.

### Reference books

Teaching offered by the Master's degree course in Geological Sciences; all information can be viewed in the relevant Educational Regulations.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'

**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. §VIII. Energia gravitazionale Grandezze conservate nelle teorie di gauge: l'esempio della teoria di Yang-Mills. Conservazione covariante e conservazione ordinaria. Equazioni di Einstein-Hilbert per metriche asintoticamente piatte. Il tensore energia-impulso gravitazionale. Il superpotenziale. Energia e quantità di moto nella formulazione ADM. Esempio: energia ADM della soluzione di Schwarzschild. Il teorema dell'energia positiva (senza dimostrazione). Background generico con vettori di Killing. Radiazione di quadrupolo. §VIII. Simmetrie asintotiche Nozione generale di gruppo di simmetria asintotica. L'esempio della teoria di Maxwell nello spazio piatto. Formalismo dello spazio delle fasi covariante. Spaziotempo asintoticamente piatto e supertraslazioni di Bondi-van der Burg-Metzner-Sachs. Applicazioni: teoremi soffici ed effetti memoria. Nota: alcuni argomenti possono essere assegnati come problemi, come alternativa all'esame orale

#### Testi

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

#### Bibliografia di riferimento

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

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna

#### Modalità di valutazione

Prova orale o svolgimento di problemi assegnati durante il corso.

### English

## Prerequisites

Special Relativity; 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 spin connection. The vielbein postulate. Torsion constraint and second-order formulation. The contorsion tensor. Local Lorentz curvature. Gravity as a gauge theory of the Poincaré algebra. Connection one-forms on the Poincaré algebra. Local Poincaré transformations. Torsion and curvature over the Poincaré algebra. First-order formulation and Cartan-Weyl's action. Relation between gauge transformations and diffeomorphisms. Spinors on curved manifolds. Minimally coupled Fermionic matter. Dirac Lagrangian. §V. Maximally symmetric spaces Homogeneous and isotropic spaces. Characterisation of maximally symmetric spaces: curvature constant and signature. MSS as vacuum solutions to the EH equations with cosmological constant. Construction from embedding in (D+1) pseudo-Lorentzian spaces: metric and Christoffel coefficients. §VI. The Schwarzschild black hole Spherically symmetric spaces. The Schwarzschild solution. Birkhoff's theorem. Singularities, definitions and criteria: curvature singularities and geodesic incompleteness. Free-fall towards the horizon. The tortoise coordinate. Extension of a space-time. Eddington-Finkelstein coordinates. Event horizons, black holes and white holes. Kruskal-Szekeres coordinates. Maximal extension of the Schwarzschild solution. Kruskal's diagram and eternal black holes. (A)dS-Schwarzschild space-time. §VII. More general black holes Conformal diagrams. Event horizons. Reissner-Nordström and Kerr black holes. Black hole thermodynamics. §VII. Gravitational energy Conserved quantities in gauge theories: the example of Yang-Mills theory. Covariant conservation and ordinary conservation. Einstein-Hilbert equations for asymptotically flat metrics. Candidate for gravitational energy-momentum tensor. The superpotential. ADM energy and momentum. Example: ADM energy of the Schwarzschild solution. The positive-energy theorem (without proof). Generic background with Killing vectors. Quadrupole radiation. §VIII. Asymptotic symmetries General notion of asymptotic symmetry group. The example of Maxwell's theory in flat space. Covariant phase space formalism. Asymptotically flat spacetime and Bondi-van der Burg-Metzner-Sachs supertranslations. Applications: soft theorems and memory effects. Note: some topics may be assigned as homework problems, as an alternative to the oral exam

## Reference books

-Carroll S, Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison-Wesley 2014/Cambridge University Press, 2019)  
-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

-

## 20410717 - Teorie Quantistiche della Materia

**Docente:** RAIMONDI ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

Meccanica Quantistica e Meccanica Statistica

#### Programma

-Teorema di fluttuazione-dissipazione e teoria della risposta lineare. -Funzioni di Green a temperatura nulla. Decomposizione di Lehmann. Proprietà analitiche. -Sviluppo perturbativo e diagrammi di Feynman. Equazione di Dyson. -Funzioni di Green a temperatura finita: tecnica di Matsubara. -Teoria di Hartree-Fock e approssimazione RPA. Schermo di Thomas-Fermi. Funzione di Lindhard. -Teoria del liquido di Fermi. -Fenomenologia della superfluidità. Teoria di Landau. -Teoria microscopica della superfluidità. Teoria di Bogolubov. -Fenomenologia della superconduttività. -Teoria BCS microscopica della superconduttività. -Derivazione di Gorkov delle equazioni di Landau-Ginzburg. -Teoria del trasporto elettronico in sistemi disordinati.

#### Testi

1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.  
2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

#### Bibliografia di riferimento

1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.  
2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

### Modalità erogazione

Le lezioni comportano l'esposizione dettagliata di sviluppi matematico-formali e quindi si utilizza la lavagna in modo sistematico (o altro strumento digitale di pari efficacia).

### Modalità di valutazione

L'esame finale tende a comprendere se lo studente ha raggiunto una ragionevole comprensione degli argomenti. Da un lato occorre controllare che abbia una comprensione generale delle varie parti del corso e sappia collegarle fra di loro. Per questo l'esame orale consiste in parte in domande tese ad accertare questi aspetti senza entrare nei dettagli del formalismo ed in parte in domande in cui si chiede di impostare il calcolo di un determinato effetto fisico. La valutazione è espressa in trentesimi.

### English

#### Prerequisites

Quantum Mechanics and Statistical Mechanics

#### Programme

- Fluctuation-dissipation theorem and linear response theory. -Green functions at zero temperature. Lehmann decomposition. Analytical properties. - Perturbative development and Feynman diagrams. Dyson equation. - Green functions at finite temperature: Matsubara technique. - Hartree-Fock theory and RPA approximation. Thomas-Fermi screen. Lindhard function. -Fermi liquid theory. - Phenomenology of superfluidity. Landau theory. -Microscopic theory of superfluidity. Bogolubov theory. - Phenomenology of superconductivity. - Microscopic BCS theory of superconductivity. -Gorkov's derivation of the Landau-Ginzburg equations. -Theory of electronic transport in disordered systems.

#### Reference books

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

#### Reference bibliography

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410718 - Teorie Quantistiche della Materia - Mod. A

**Docente:** RAIMONDI ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

#### Programma

Teorema di fluttuazione-dissipazione e teoria della risposta lineare. -Funzioni di Green a temperatura nulla. Decomposizione di Lehmann. Proprietà analitiche. -Sviluppo perturbativo e diagrammi di Feynman. Equazione di Dyson. -Funzioni di Green a temperatura finita: tecnica di Matsubara. -Teoria di Hartree-Fock e approssimazione RPA. Schermo di Thomas-Fermi. Funzione di Lindhard. -Teoria del liquido di Fermi. -Fenomenologia della superfluidità. Teoria di Landau. -Teoria microscopica della superfluidità. Teoria di Bogolubov. -Fenomenologia della superconduttività. -Teoria BCS microscopica della superconduttività. -Derivazione di Gorkov delle equazioni di Landau-Ginzburg.

#### Testi

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Le lezioni comportano l'esposizione dettagliata di sviluppi matematico-formali e quindi si utilizza la lavagna in modo sistematico (o altro strumento digitale di pari efficacia).

### Modalità di valutazione

L'esame finale tende a comprendere se lo studente ha raggiunto una ragionevole comprensione degli argomenti. Da un lato occorre controllare che abbia una comprensione generale delle varie parti del corso e sappia collegarle fra di loro. Per questo l'esame orale consiste in parte in domande tese ad accertare questi aspetti senza entrare nei dettagli del formalismo ed in parte in domande in cui si chiede di impostare il calcolo di un determinato effetto fisico. La valutazione è espressa in trentesimi.

### English

#### Prerequisites

## Programme

Fluctuation-dissipation theorem and linear response theory. -Green functions at zero temperature. Lehmann decomposition. Analytical properties. - Perturbative development and Feynman diagrams. Dyson equation. - Green functions at finite temperature: Matsubara technique. - Hartree-Fock theory and RPA approximation. Thomas-Fermi screen. Lindhard function. -Fermi liquid theory. - Phenomenology of superfluidity. Landau theory. -Microscopic theory of superfluidity. Bogolubov theory. - Phenomenology of superconductivity. - Microscopic BCS theory of superconductivity. -Gorkov's derivation of the Landau-Ginzburg equations.

## Reference books

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410901 - VULCANO-TETTONICA

**Docente:** ACOCELLA VALERIO

## Italiano

### Prerequisiti

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

### Programma

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

### Testi

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Testi da definire

### Modalità di valutazione

insegnamento offerto dal corso di laurea magistrale in Scienze Geologiche; tutte le informazioni sono visionabili sul relativo Regolamento Didattico

## English

### Prerequisites

Teaching offered by the Master's degree course in Geological Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

### Programme

Teaching offered by the Master's degree course in Geological Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

### Reference books

Teaching offered by the Master's degree course in Geological Sciences; all information is available in the relevant Educational Regulations.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-