



## UNIVERSITÀ DI PISA

### MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY

---

**MASSIMILIANO RAZZANO**

Academic year 2022/23  
Course FISICA  
Code 327BB  
Credits 9

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY	FIS/01	LEZIONI	90	BARBARA PATRICELLI MASSIMILIANO RAZZANO

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Dopo aver superato l'esame lo studente avrà acquisito una solida conoscenza delle metodologie sperimentali legate all'osservazione di radiazione elettromagnetica, onde gravitazionali e raggi cosmici, e delle tecniche e principali software di analisi dati utilizzati nell'astrofisica multimessaggera. Durante il corso gli studenti impareranno a sviluppare programmi di analisi articolati utilizzando il linguaggio di programmazione Python anche sfruttando la programmazione orientata agli oggetti. Nella parte finale saranno anche presentati cenni di tecniche di analisi avanzate basate su machine e deep learning.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Lo studente deve mostrare di saper leggere e manipolare i dati raccolti da telescopi e strumenti operanti alle diverse lunghezze d'onda (in particolare onde radio, raggi X e raggi gamma), e da rivelatori di onde gravitazionali. Durante il corso saranno proposti progetti di analisi dati in cui gli studenti dovranno sviluppare opportuni programmi e algoritmi per estrarre i principali parametri delle sorgenti astrofisiche da analizzare, e preparare una relazione sui risultati ottenuti.

##### *Metodi*

- Progetti di analisi dati e relative relazioni di laboratorio
- Esame finale orale

##### *Capacità*

Capacità di leggere e dati osservativi, anche ritrovandoli da archivi online. Utilizzare il linguaggio di programmazione Python per sviluppare strumenti di analisi dati relativi a osservazione di radiazione elettromagnetica, gravitazionale e di radiazione cosmica. Utilizzare i principali software di riduzioni dati usati nel dominio dei raggi X, raggi gamma, onde gravitazionali, anche utilizzando le principali librerie di analisi dati Python. Costruire un software di analisi dati per combinare dati osservativi provenienti da strumenti diversi nel contesto multimessaggero.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

L'abilità nell'uso degli strumenti e metodi più adeguati per studiare una sorgente cosmica viene verificata durante i progetti di analisi dati durante l'anno e durante la prova orale finale. Alcuni progetti saranno sviluppati a gruppi e altri individualmente.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### *Comportamenti*

Lo studente acquisisce la terminologia corretta, sa utilizzare i metodi e i software di analisi più appropriati e, ove necessario, sa sviluppare semplici programmi di analisi in Python.

### *Modalità di verifica dei comportamenti*

L'uso della terminologia corretta e il corretto ragionamento sono valutati nelle relazioni di laboratorio e durante la prova orale.

### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Conoscenze di base di relatività ed elettromagnetismo, di processi di interazione radiazione-materia. Conoscenza delle tecniche di analisi statistica di base. Conoscenza delle basi del linguaggio Python.

### *Programma (contenuti dell'insegnamento)*

#### INTRODUZIONE

- Richiami su grandezze fondamentali in astrofisica. Introduzione all'astrofisica multifrequenza. Cataloghi, formato dati e risorse online per astrofisica multifrequenza. Introduzione all'astrofisica multimessaggera, motivazione e principali risultati. Programmazione a oggetti con Python e librerie per astronomia
- Semplici progetti introduttivi sull'utilizzo delle librerie di base e sulla programmazione a oggetti

#### RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA DI BASSA ENERGIA - ONDE RADIO

- Processi di emissione di radiazione nel dominio delle onde radio. Equazioni del trasporto radiativo, spettro di corpo nero. Emissioni non termiche. Principali sorgenti astrofisiche. Elementi di rivelazione delle onde radio con radiotelescopi.
- Progetto di analisi dati su osservazioni radio

#### RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA DI ALTA ENERGIA

- Processi di emissione di radiazione X e gamma. Meccanismi di interazione radiazione materia ad alte energie e tecniche di rivelazione nell'astrofisica X e gamma. Polarimetria X. Principali rivelatori di raggi X e gamma: passato, presente e futuro. Principali sorgenti astrofisiche alle alte energie.
- Progetto di analisi dati su osservazione di raggi gamma da una sorgente transiente. Il caso dei Gamma Ray Burst
- Progetto di analisi dati su osservazione gamma di una sorgente periodica. Il caso delle pulsar

#### ONDE GRAVITAZIONALI

Cenni di relatività generale e introduzione alle onde gravitazionali. Principali sorgenti di onde gravitazionali. Sorgenti transienti e continue a varie lunghezze d'onda. Rivelatori di onde gravitazionali. Dalle barre risonanti agli interferometri. Rivelatori interferometrici. Il problema del rumore. Scoperta delle onde gravitazionali e primi risultati. Formato dati e introduzione all'analisi dati. Analisi di segnale. Tecniche di rivelazione: Matched filtering e excess power. Stima dei parametri.

- Progetto di analisi dati di coalescenza di un sistema binario compatto.

#### INTRODUZIONE AI METODI DI ANALISI MODERNI BASATE SU MACHINE LEARNING

Introduzione alle tecniche di machine learning. Principali tipologie di algoritmi. Struttura di un



## UNIVERSITÀ DI PISA

algoritmo di machine learning. Esempi di applicazioni di metodi di machine learning in ambito multimessaggero.

### Bibliografia e materiale didattico

Libri di testo universitari di metodi sperimentali in astrofisica e fisica multimessaggera, astrofisica delle alte energie e di fisica delle onde gravitazionali (parti relative ai metodi sperimentali e all'analisi dei dati).

In particolare:

- Smith, "Observational Astrophysics", Cambridge University Press.
- Chromey, "To measure the sky", Cambridge University Press.
- Longair, M. "High Energy Astrophysics", Cambridge Ed.
- Maggiore, M. "Gravitational Waves, Vol. 1", Oxford Ed.
- Creighton, D.E. & Anderson, W. G., "Gravitational-Wave Physics and Astronomy", Wiley Ed.
- Smith, "Observational Astrophysics", Cambridge University Press.
- Chromey, "To measure the sky", Cambridge University Press.
- Manuali e risorse online sulla programmazione in Python e sull'uso dei software di riduzione dati impiegati nel corso.

### Modalità d'esame

L'esame consiste in una prova orale in cui vengono discussi i progetti di analisi dati realizzati durante il corso. Le relazioni sui singoli progetti sono il punto di partenza per l'approfondimento delle tematiche sperimentali trattate nel corso. In base alle restrizioni previste in conseguenza della situazione di pandemia agli studenti sarà fornita una piattaforma dove poter sviluppare i progetti di analisi proposti.

### Pagina web del corso

<https://elearning.df.unipi.it/course/view.php?id=337>

Ultimo aggiornamento 14/12/2022 10:13