UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Astrophysics Laboratory

2627-3-E3001Q058

Obiettivi

Gli obiettivi formativi del corso riguardano sia aspetti di conoscenza di base dell'astrofisica (DdD 1) sia lo sviluppo di competenze di base per la ricerca scientifica (DdD 2) e sia competenze trasversali (DdD 3, 4, 5). In particolare, attraverso questo corso di laboratorio gli studenti impareranno:

1. Il funzionamento della strumentazione e le tecniche osservative di base dell'astrofisica (DdD 1);
2. Condurre osservazioni su sorgenti astronomiche ed effettuare la calibrazione dei segnali osservati (DdD 1, 2);
3. Effettuare l'analisi delle osservazioni e determinare le osservabili fisiche associate alle sorgenti astronomiche (DdD 1, 2);
4. Scrivere codici di analisi scientifica in Python (DdD 2).

Per quanto riguarda le competenze trasversali (DdD 3, 4, 5) gli studenti impareranno a:
i) porre e raffinare domande scientifiche, ii) identificare le variabili rilevanti nei problemi fisici , iii) proporre ipotesi testabili, iv) fare assunzioni, v) ridurre problemi complessi in unità più piccole, vi) condividere e comunicare i risultati, vii) scrivere un report scientifico.

Contenuti sintetici

L'insegnamento è diviso in due moduli di laboratorio più una serie di lezioni sulla programmazione in Python. Queste ultime sono parte integrante del laboratorio. I due moduli di laboratorio saranno preceduti da alcune ore di lezione introduttive all'attività di laboratorio.

- Il primo modulo riguarda l'analisi di immagini fotometriche nell'ottico di galassie spazialmente risolte ottenute con il Telescopio Bicocca e cataloghi di galassie ottenuti da surveys professionali.
- Il secondo modulo riguarda l'osservazione spettroscopica e l'analisi dei dati acquisiti con il Radiotelescopio nella banda di 1.4 GHz su regioni galattiche che contengono nubi di idrogeno atomico.

- Il modulo di programmazione riguarda l'ntroduzione a Python ed all’uso di Jupyter Notebooks per il calcolo scientifico e l’analisi dei dati.

Programma esteso

L'insegnamento è diviso in due moduli di laboratorio più una serie di lezioni sulla programmazione in Python.

La prima parte dell'insegnamento sarà costituita da una serie di lezioni introduttive:
a. Modulo Python: 12 ore di lezione su calcolo scientifico e analisi dati;
b. Moduli Telescopio ottico e Radiotelescopio: 10-15 ore circa di lezione introduttive alle osservazioni ed alle attività del laboratorio.

Dopo le lezioni introduttive inizieranno le attività di laboratorio, suddivise in due moduli.

1. Modulo Telescopio ottico;
2. Modulo Radiotelescopio:

Gli studenti saranno divisi in gruppi; ciascun gruppo sarà formato da 3 studenti. Ogni gruppo farà attività sia con il Telescopio Ottico sia con il Radiotelescopio. L'impegno totale è di circa 42 ore per ogni modulo. I due moduli saranno seguiti in parallelo in giorni diversi della settimana.

- **Modulo di Programazione:**

Questo modulo introduttivo si propone di fornire le competenze di base nell'utilizzo del linguaggio Python per l'analisi di dati astronomici. L'obiettivo è dotare agli studenti degli strumenti necessari per affrontare le attività di laboratorio e, più in generale, le applicazioni in ambito scientifico che richiedono l'elaborazione di dati. Durante il modulo, verranno trattati i seguenti argomenti, con esempi ed esercizi pratici:

- Programmazione di base in Python per il calcolo scientifico: Approfondiremo l'utilizzo di librerie fondamentali come NumPy per il calcolo numerico, Matplotlib per la creazione di figure, grafici e animazioni, e Pandas per la lettura e la gestione efficiente di tabelle.
- Metodi statistici per l'analisi di dati di conteggio: Presteremo particolare attenzione alla distribuzione di Poisson e alla stima delle incertezze nei conteggi, elementi cruciali nell'analisi dei dati astronomici.
- Gestione e visualizzazione di dati astronomici tabellari: Lavoraremo con dati provenienti da cataloghi reali (formati CSV e TSV), con esempi specifici relativi ai moduli del telescopio ottico e del radiotelescopio. I codici svulpati saranno utili per affrontare i moduli del telescopio ottico e del radiotelescopio.
- Utilizzo di unità fisiche e trasformazioni tra sistemi di coordinate astronomiche: Esploreremo le funzionalità della libreria Astropy per la gestione delle unità e la conversione tra diversi sistemi di coordinate astronomiche.
- Introduzione al formato FITS (Flexible Image Transport System): Impararemo le tecniche per leggere, modificare e scrivere file FITS, sia che contengano immagini che tabelle.
- Tecniche base di analisi di immagini astronomiche: Vedremo come applicare metodi come la sovrapposizione di immagini per migliorare il rapporto segnale/rumore, sfruttando i concetti appresi sull’incerteza in un processo di Poisson applicato al conteggio di fotoni.

Questo modulo si terrà all'inizio del corso, fornendo una base solida per affrontare con successo le successive attività pratiche, ed anche, più in generale, in altre applicazioni in ambito scientifico.

- **Modulo Telescopio ottico**:

Gli obiettivi formativi di questo modulo includono sia componenti di acquisizione di conoscenze (Descrittori di Dublino 1-2) sia di sviluppo di competenze (Descrittori di Dublino 3-5). In particolare, attraverso l'uso di dati

fotometrici ottenuti dal Telescopio Bicocca e da survey pubbliche, gli studenti impareranno:

1. Come classificare la morfologia delle galassie in termini del loro profilo di luce
2. Come collegare le proprietà morfologiche delle galassie (dimensione, profilo di luce) alle proprietà fisiche della componente stellare delle galassie (massa, età, tasso di formazione stellare) e di altre possibili componenti in modo da studiare i possibili percorsi evolutivi delle galassie e il loro equilibrio dinamico.

Gli obiettivi formativi in termini di competenze o pratica scientifica (Descrittore di Dublino 2), incluse le competenze trasversali (Descrittori di Dublino 3-5), includono:

- imparare come combinare dati osservativi e modelli teorici per formulare domande significative e ipotesi sulla formazione delle galassie, assieme a strategie per poterle testare.

- imparare e/o consolidare le capacità fondamentali nella pratica della ricerca scientifica, tra le quali: i) porre e raffinare domande scientifiche, ii) identificare le variabili rilevanti nei problemi fisici , iii) proporre ipotesi testabili, iv) fare assunzioni, v) ridurre problemi complessi in unità più piccole, vi) condividere e comunicare i risultati .

- **Modulo Radiotelescopio**:

Gli obiettivi formativi di questo modulo includono sia componenti di acquisizione di conoscenze (Descrittori di Dublino 1-2) sia di sviluppo di competenze (Descrittori di Dublino 3-5).
Ciascun gruppo effettuerà osservazioni di sorgenti celesti, in particolare di regioni galattiche che contengono nubi di idrogeno atomico, nella banda di 1.4 GHz. Le osservazioni saranno di tipo spettroscopico e consentiranno di ricoloscere l'emissione dell'Idrogeno atomico.
Ciascun gruppo gestirà un programma osservativo con il radiotelescopio e analizzerà i dati raccolti. I risultati verranno descritti in una breve relazione, che sarà discussa all'esame.

Gli obiettivi formativi in termini di competenze o pratica scientifica (Descrittore di Dublino 2), incluse le competenze trasversali (Descrittori di Dublino 3-5), saranno orientati ad imparare a:

- Effettuare osservazioni col telescopio
- Analizzare i dati acquisiti
- Calibrare il segnale con sorgenti note
- Descrivere il lavoro fatto ed i risultati ottenuti in una relazione

Gli obiettivi scientifici specifici potranno includere i seguenti argomenti:

- Studio della dinamica delle regioni osservate
- Studio della velocità di rotazione del disco

- **Lezioni introduttive**:
  Vengono descritte alcune delle sorgenti astronomiche da osservare e le osservabili astrofisiche. Vengono inoltre introdotte le tecniche e la strumentazione utilizzate nelle osservazioni del laboratorio.

Prerequisiti

Gli studenti sono tenuti a conoscere i contenuti degli insegnamenti di fisica generale e dei laboratori seguiti negli anni precedenti.

Modalità didattica

La modalità didattica sarà mista e comprenderà sia lezioni svolte in modalità erogativa che esercitazioni svolte in modalità interattiva.
Le lezioni saranno erogate esclusivamente in presenza. Per le attività di laboratorio, incluso il modulo Python, la presenza è obligatoria.

1) **Modulo di programmazione**: Lezioni da 2-3 ore svolte in modalità erogativa in presenza;
2) **Moduli di laboratorio**: attività di laboratorio da 3-4 ore svolte in modalità interattiva in presenza; è prevista una parte introduttiva in modalità erogativa che riguarderà le prime settimane di attività. Si consiglia agli studenti di portare un laptop.

Materiale didattico

1) Materiale ed appunti utilizzati durante le lezioni frontali, fornite dai docenti.

2) Codici e pacchetti software per l'uso della strumentazione e per l'analisi dei dati raccolti.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre: approssimativamente da fine Febbraio a inizio Giugno.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

La valutazione finale sarà con voto in trentesimi e comprenderà:

1) **Modulo Telescopio ottico**: Presentazione dell'attività svolta e dei risultati ottenuti; **Modulo Radiotelescopio**: Relazione scritta che descriva il lavoro svolto in laboratorio, comprendente le misure effettuate e l'analisi dei dati.

2) **Colloquio orale finale**: relativo alla discussione della presentazione e della relazione preparate da ciascun gruppo.

All'interno di ogni gruppo, oltre all'attività svolta, sarà valutata la maturità dello studente, la padronanza degli argomenti trattati, la chiarezza e proprietà nel linguaggio, la capacità critica.

Orario di ricevimento

Su appuntamento con i diversi docenti.

Sustainable Development Goals