DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Astrofisica Moderna

Modern Astrophysics

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	**CdS**	FISICA (LM-17)
Codice		**Canale**	Unico
CFU	6	**Lingua**	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Giuseppe Bono

CODOCENTE

Nessun Codocente

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	RISULTATI DI APPRENDIMENTO: Lo scopo del corso è di fornire una preparazione avanzata in Fisica, e in particolare su argomenti di frontiera della moderna ricerca in Astrofisica. I risultati di apprendimento si basano su una conoscenza dettagliata della fisica di base per la formazione ed evoluzione di strutture che spaziano dai pianeti (sistema solare, extrasolari) alle stelle (bruciamenti centrali, fasi evolutive finali). Questo tipo di conoscenze sono fondamentali per comprendere la formazione della Via Lattea e la storia di arricchimento chimico delle sue popolazioni stellari. Gli studenti verranno anche introdotti ai meccanismi fisici che governano la formazione di sistemi poveri e ricchi di gas e il ruolo che l'ambiente gioca nella loro evoluzione. Inoltre, gli studenti apprenderanno i fondamenti di cosmologia osservativa, di formazione di strutture ad alto Redshift e di nucleosintesi del Big Bang. Questi concetti sono un trampolino di lancio non solo per gli studenti interessati a comprendere l'Universo locale, ma anche per quelli interessati alla struttura su grande scala dell'Universo, ai modelli cosmologici e agli istanti iniziali di formazione dell'Universo. CONOSCENZA E COMPRENSIONE: Gli studenti alla fine del semestre acquisiranno una conoscenza dettagliata di un ampio spettro di fenomeni astrofisici. Formazione ed evoluzione di pianeti rocciosi e giganti, fisica degli interni stellari (opacità equazione di stato, reazioni nucleari). Gli studenti acquisiranno una solida conoscenza sia sulla natura delle galassie (spirali, irregolari, ellittiche), sui Nuclei Galattici Attivi che sulla loro formazione ed evoluzione. Inoltre avranno acquisito una solida conoscenza sulla scala delle distanze cosmiche (indicatori primari e secondari)

sull'espansione cosmica, sulla cosmologia osservativa, sugli istanti iniziali di formazione dell'Universo (nucleosintesi del Big Bang) e sulle onde gravitazionali. Questo tipo di conoscenze consentiranno agli studenti di comprendere come le strutture cosmiche evolvono con il tempo. Gli studenti verranno anche esposti a diverse tecniche astrofisiche per stimare parametri fisici (età, velocità) e chimici (abbondanze) delle stelle e degli approcci empirici e teorici utilizzati per vincolare i parametri strutturali dei sistemi stellari vicini.

APPLICAZIONE DI CONOSCENZA E COMPRENSIONE:

Gli studenti alla fine del semestre avranno acquisito le competenze e le capacità fotometriche e spettroscopiche per affrontare e risolvere un ampio spettro di problemi astrofisici. In particolare, gli studenti saranno in grado di determinare, per uno specifico sistema stellare, la distribuzione di metallicita', di stimare la sua storia di formazione stellare e la loro storia di arricchimento chimico. Gli studenti svilupperanno competenze specifiche sulla stima dei parametri cosmologici (costante di Hubble, abbondanza di elio primordiale, eta' assoluta degli ammassi globulari). Inoltre, diventeranno familiari con le tecniche per la riduzione di dati fotometrici e spettroscopici e con la stima degli errori sperimentali e sistematici degli osservabili che misureranno.

CAPACITA' DI GIUDIZIO:

Gli studenti sosterranno un esame orale il cui scopo è quello di verificare lo stato delle loro conoscenze in Astrofisica Moderna e presenteranno un elaborato scritto sul progetto che svolgeranno. L'elaborato scritto potrà essere svolto sia individualmente che in piccoli gruppi per sviluppare un maggiore spirito di collaborazione. Per sviluppare il progetto agli studenti verrà richiesto di effettuare diverse scelte critiche per quanto riguarda i dati (fotometria verso spettroscopia) da utilizzare e/o i parametri stellari e/o i parametri cosmologici che dovranno stimare. Gli studenti inoltre nell'effettuare il confronto tra predizioni teoriche ed osservazioni acquisiranno delle notevoli capacità critiche nel quantificare le incertezze teoriche ed empiriche che influenzano la misura e/o la stima dei parametri astrofisici/cosmologici e quindi sulle scelte metodologiche e strategiche per completare il progetto.

ABILITA' COMUNICATIVA:

Agli studenti verra' richiesto di sostenere un esame orale per verificare lo stato delle loro conoscenze in Astrofisica Moderna. Questo tipo di esame richiede un notevole sforzo di sintesi sull'intero programma e per collegare i due moduli principali del corso (pianeti e stelle verso galassie e cosmologia). Agli studenti verrà inoltre richiesto di sintetizzare i risultati in figure e tabelle e di effettuare un'analisi critica sugli errori coinvolti e sulla recente letteratura. Questo tipo di conoscenze gli consentirà di affrontare e risolvere un ampio spettro di problemi astrofisici.

	CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Gli studenti durante il corso acquisiranno le conoscenze necessarie per sviluppare un'attività di ricerca in Astrofisica Moderna (sistema solare, pianeti extrasolari, astrofisica stellare, astrofisica galattica ed extragalattica, cosmologia). Queste competenze rappresentano un'opportunità unica per un PhD, ma anche per delle opportunità di lavoro in ricerca spaziale e in ambito big data.
English	LEARNING OUTCOMES: The course is aimed at providing an advanced preparation on Physics, with a detailed knowledge of the key topics in the modern research in Astrophysics. The learning outcomes rely on a detailed knowledge of the basic physics for the formation and evolution of structures ranging from planets (solar system, extrasolar planets) to stars (atmospheres, interiors). This knowledge is fundamental to understand the early formation and evolution of the Milky Way together with the chemical enrichment history of its stellar content. The students will also be introduced to the physical mechanisms driving the formation of gas-poor and gas-rich stellar systems and to the role that the environment plays in their evolution. Moreover, they will also learn the basics of observational cosmology together with the very early Universe and the Big Bang Nucleosynthesis. These concepts are a stepping stone not only for the students interested in understanding the local Universe, but also for those interested in the large scale structure of the Universe, in cosmological models and in the very early evolution of the Universe. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: At the end of the semester, the students will acquire detailed knowledge on a broad range of astrophysical phenomena. Formation and evolution of rocky and giant planets, physics of stellar interiors (opacity, equation of state, nuclear reactions). Moreover, the students will acquire solid knowledge on the nature of galaxies (spirals, irregulars, ellipticals) together with their formation and evolution. They will also have a detailed knowledge of the cosmic distance scale (primary/secondary distance indicators), of the expansion of the Universe together with the basics of modern observational cosmology, of the very early Universe (Big Bang nucleosynthesis) and of gravitational waves. This knowledge will allow the students to fully understand how cosmic structures evolved with time. The students will also take advantage of different astrophysical techniques to estimate physical parameters (ages, abundances) together with the empirical and theoretical approaches for constraining structural parameters of nearby stellar systems.

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:

At the end of the semester, the students will acquire the photometric and spectroscopic competences and skills to attack and solve a broad range of astrophysical problems. In particular, the students will be able to determine, for a specific stellar system, the metallicity distribution, to estimate their star formation history and their chemical enrichment history. The students will also have specific competence on the estimate of cosmological parameters (Hubble constant, primordial helium content, absolute are of globular clusters). Moreover, they become familiar with photometric and spectroscopic techniques and with the estimate of random and systematic errors affecting the observables they are measuring.

MAKING JUDGEMENTS:

The students will take an oral exam aimed at verify the knowledge of modern astrophysics together with a written report concerning a specific project. The written report can be done either individually or in small groups. To undertake the project, the students are requested to perform several critical choices concerning the empirical data (photometry versus spectroscopy) and/or stellar parameters and/or cosmological parameters for the investigation. Moreover, the students in dealing with the comparison between theory and observations, will acquire a substantial critical judgement concerning empirical and theoretical uncertainties affecting the measurements/estimate of astrophysical/cosmological parameters and in turn, on the strategic and methodological choices to accomplish the project.

COMMUNICATION SKILLS:

The students are requested to take an oral exam to verify the knowledge acquired on modern astrophysics. This requires a relevant effort to summarize the entire program and to link the two main modules of the course (stars and planets versus galaxies and cosmology). The students are also requested to submit, before the exam, a written report on a specific project. In this project the students are requested to summarize the results with figures and tables together with a critical analysis of both the error budget and the recent literature. This knowledge will allow them to attach and solve a broad range of astrophysical problems.

LEARNING SKILLS:

The student during the course will acquire the knowledge required to build up a research activity in moderns astrophysics (solar system,

	extrasolar planets, stellar astrophysics, Galactic and extra-galactic astrophysics, cosmology). This means an unique opportunities not only for a PhD, but also for job opportunities concerning space activity and big data.

PREREQUISITI

Italiano	E' obbligatorio che gli studenti abbiano già acquisito le conoscenze di fisica di base (equazione di stato, interazione materia-radiazione, radiazione di corpo nero, quantizzazione dell'energia). E' inoltre importante che gli studenti siano a conoscenza dei metodi numerici di minimizzazione ai minimi quadrati e multi-parametrici.
English	*It is mandatory that the students have already acquired a detailed knowledge of basic physics (equation of state, the interaction between light and matter, blackbody radiation, quantization of energy). It is also quite important that the students could have a detailed knowledge of the numerical methods adopted for Least-Squares and multi-parametric minimization.*

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	1 Introduzione 1.1 Parallassi stellari ed astrometria 1.2 Scala delle magnitudini ed indici di colore 1.3 Abbondanze cosmiche e mistura solare 2 Sistema Solare e Pianeti Extrasolari 2.1 Pianeti terrestri e giganti 2.2 Identificazione e caratterizzazione di pianeti extrasolari 2.3 Formazione ed evoluzione di sistemi planetari 3 Strutture Stellari 3.1 Classificazione spettrale e diagramma di Hertzsprung Russell 3.2 Equazione di stato e opacità stellari 3.3 Equazioni degli interni stellari 3.4 Evoluzione in sequenza principale e fasi evolutive avanzate

	3.5 Oggetti compatti: nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri stellari 4 La Via Lattea 4.1 Popolazioni stellari 4.2 Sistemi stellari 4.3 Sferoide Galattico: alone, nucleo, disco 5 Il regno delle Galassie 5.1 Sequenza di Hubble: spirali, irregolari ed ellittiche 5.2 La scala delle distanze extragalattiche 5.3 L'espansione dell'Universo 6 Cosmologia 6.1 Il fondo cosmico a microonde 6.2 Le fasi iniziali dell'Universo 7 Onde Gravitazionali 7.1 Che cosa sono? Come sono state misurate? 7.2 Oggetti compatti come sorgenti di onde gravitazionali
English	*1 Introduction* *1.1 Stellar parallaxes and astrometry* *1.2 Magnitude scales and color indices* *1.3 Cosmic abundances and solar mixture* *2 Solar System and Extrasolar planets* *2.1 Terrestrial and Giant planets* *2.2 Identification and characterization of extrasolar planets* *2.3 Planetary system formation and evolution* *3 Stella Structures* *3.1 Spectral classification and Hertzsprung Russell diagram* *3.2 Equation of state and stellar opacities* *3.3 Equations of stellar interiors* *3.4 Main sequence and post main sequence evolution*

	3.5 Compact objects: white dwarfs, neutron stars, stellar mass BH *4 The Milky Way* *4.1 Stellar populations* *4.2 Stellar systems* *4.3 Galactic spheroid: Halo, Bulge, Disk* *5 The Realm of Galaxies* *5.1 Hubble sequence: Spirals, irregulars and ellipticals* *5.2 The extragalactic distance scale* *5.3 The expansion of the Universe* *6 Cosmology* *6.1 The cosmic microwave background* *6.2 The very early Universe* *7 Gravitational Waves* *7.1 What they are? How they have been detected?* *7.2 Binary compact objects as sources of gravitational waves*

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	An Introduction to Modern Astrophysics, B.W. Carroll, D.A. Ostlie, Addison Wesley Old Stellar Populations, by Maurizio Salaris, Santi Cassisi, Wiley-vch
English	An Introduction to Modern Astrophysics, B.W. Carroll, D.A. Ostlie, Addison Wesley Old Stellar Populations, by Maurizio Salaris, Santi Cassisi, Wiley-vch

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☒ A distanza

Italiano	I due moduli principali del corso (stelle e pianeti verso galassie e cosmologia) si basano sull'insegnamento frontale. Il corso richiede la conoscenza di un ampio spettro di conoscenze tecniche (fotometria, spettroscopia). Per aiutare gli studenti a capire la fisica di base che governa la formazione e l'evoluzione di questi sistemi e i diversi approcci per analizzare i dati, durante il corso ci si avvarrà solo dell'uso della lavagna, quindi senza l'ausilio di presentazioni power point. Gli studenti, per quanto riguarda l'elaborato scritto, sono tenuti a partecipare a una serie di tutorials per introdurli alle tecniche fotometriche o a quelle spettroscopiche. Gli studenti verranno introdotti ai diversi metodi adottati per la propagazione degli errori (intrinseci, sistematici) che influenzano la stima dei parametri
English	*. The two main modules of the course (stars and planets versus galaxies and cosmology) rely on frontal teaching. The course requires the knowledge of a broad range of astronomical*

	techniques (photometry, spectroscopy, analysis of periodic signals). To help the students in understanding the basic physics driving the formation and evolution of these systems and the different approaches to reduce and analyze the data the course is entirely given to the blackboard, i.e. without the support of power point presentations. *The students, concerning the written report are requested to attend a series of tutorials to introduce them either to photometry or to spectroscopy. Moreover, they are introduced to the different methods adopted to propagate the errors (intrinsic, systematic) affecting the estimate of astrophysical/cosmological parameters.*

MODALITÀ DI FREQUENZA

☒ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Agli studenti viene richiesto di partecipare alle lezioni che vengono date durante il semestre. Viene inoltre richiesto di partecipare alle lezioni introduttive al progetto da svolgere.
English	Students are requested to attend the lectures given during the semester. Moreover, they are also requested to attend the lectures focused on the project they have to prepare for the final exam.

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☐ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica

☐ Valutazione in itinere ☒ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Giuseppe Bono, Valentina D'Orazi, altri docenti

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	L'esame finale si basa su due diversi tipi di valutazioni dell'apprendimento. a) Un esame orale che si prefigge di verificare le conoscenze che lo studente ha conseguito durante il semestre sui pianeti extrasolari, in astrofisica stellare, astrofisica Galattica ed extragalattica e in cosmologia osservativa. In particolare, verrà richiesto agli studenti di utilizzare sistemi stellari ricchi e poveri di gas come laboratori astrofisici per vincolare i loro parametri strutturali e per investigare le loro popolazioni stellari.

	b) Agli studenti verrà richiesto un elaborato scritto su uno specifico progetto da svolgere individualmente o in piccoli gruppi per verificare lo stato delle loro conoscenze sulla formazione ed evoluzione dei sistemi stellari e la loro capacità ad applicarle ad un ampio spettro di problemi astrofisici. I progetti proposti spaziano dall'identificazione e caratterizzazione di pianeti extra-solari, alla stima di età assolute e relative dei sistemi stellari e alla determinazione delle distanze cosmiche. Un aspetto fondamentale nella valutazione del progetto è la capacità dello studente nella stima di parametri cosmologici e l'impatto che gli errori di misura e gli errori sistematici hanno sulla loro determinazione. La valutazione finale dell'esame si baserà sulle due prove a) e b) insieme alla partecipazione alle lezioni e al lavoro svolto nel progetto.
English	*The final exam is based on two independent types of learning assessments.* *a) An oral exam aimed to verify the knowledge that the students accomplished during the semester in extrasolar planets, in stellar astrophysics, Galactic and extragalactic astrophysics and in observational cosmology. In particular, the students are requested to use gas-poor/gas-rich stellar systems as astrophysical laboratories to constrain their structural parameters and their stellar content.* *b) Report of a project written either alone or in a small group aimed at verify that the students understood the basic physics driving the formation and evolution of stellar systems and that they are able to attack and to solve a broad range of astrophysical problems. The proposed projects range from the identification and characterization of an extra-solar planet, to the estimate of stellar ages and to the determination of cosmic distances. A key issue in the evaluation of the project is the knowledge that the student accomplished in the estimate of astrophysical/cosmological parameters and the impact that intrinsic and systematic errors have on their determination.* *The final evaluation of the exam is based on tests a) and b) together with the participation to the lectures and to the project*