

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Buchi Neri e Galassie

BLACK HOLES AND GALAXIES

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	FISICA (LM-17)
Codice	8068801	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Inglese

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Francesco Tombesi

CODOCENTE

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: Conoscenze fondamentali sulla struttura dei buchi neri, delle galassie e dei nuclei galattici attivi, sulle loro proprietà emissive, sulla selezione di campioni statisticamente significativi, e sulla evoluzione delle sorgenti in un contesto cosmologico. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: - Approfondita comprensione della struttura dei buchi neri in accrescimento, delle galassie e dei nuclei galattici attivi, delle loro proprietà emissive, e della loro evoluzione in un contesto cosmologico. - Conoscenza dei principali criteri per la selezione di campioni statisticamente significativi. - Buona conoscenza dello stato dell'arte su buchi neri, galassie e nuclei galattici attivi. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: - Capacità di stimare le principali grandezze fisiche caratteristiche di buchi neri, galassie e nuclei galattici attivi sulla base dei dati osservativi. - Capacità di leggere e comprendere articoli scientifici recenti sulla fisica delle sorgenti extragalattiche. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: - Capacità di eseguire ricerche bibliografiche di astrofisica extragalattica, selezionando i materiali interessanti e valutandone i risultati principali. ABILITÀ COMUNICATIVE: - Capacità di presentare ed organizzare l'esposizione di un argomento specialistico di approfondimento di astrofisica extragalattica. - Padronanza della lingua inglese tale da permettere l'interazione con ricercatori di altri paesi.
----------	--

	CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: - Capacità di affrontare nuovi campi attraverso uno studio autonomo.
English	LEARNING OUTCOMES: <i>Fundamental knowledge on the structure of black holes, galaxies and active galactic nuclei, on their properties as sources of electromagnetic radiation, on the selection of statistically significant samples, and on the evolution of the sources in a cosmological framework.</i> KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: - Detailed knowledge of the structure of accreting black holes, galaxies and active galactic nuclei, of their properties as sources of electromagnetic radiation, and of their cosmic evolution. - Knowledge of the main criteria for the selection of statistically significant samples. - Fair knowledge of the state of the art about black holes, galaxies and active galactic nuclei. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: - To be able to estimate main physical quantities characteristic of black holes, galaxies and active galactic nuclei on the basis of observational data. - To be able to read and understand recent scientific articles about the physics of extragalactic sources. MAKING JUDGEMENTS: - To be able to perform bibliographic searches of extragalactic astrophysics, selecting interesting materials, and evaluating their main scientific results. COMMUNICATION SKILLS: - To be able to present a in-depth study of a specialistic topic of extragalactic astrophysics. - Good knowledge of the English language, such as to enable an efficient interaction with researchers of other countries. LEARNING SKILLS: - To be able to enter new fields through independent study.

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenze di base di fisica e astrofisica.
English	Basic knowledge of general physics and astrophysics.

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Quali sono l'origine, la crescita e l'evoluzione dei buchi neri, e la loro influenza sull'ambiente circostante, sono fondamentali domande aperte dell'astrofisica. Infatti, i buchi neri supermassicci (SMBH), le cui fasi di accrescimento sono osservabili nella radiazione elettromagnetica (EM) come nuclei galattici attivi (AGN), sembrano risiedere al centro di tutte le galassie e la loro attività può avere impatti su scale che vanno dall'orizzonte degli eventi fino agli ammassi di galassie. In questo corso descriveremo la fisica dei buchi neri; i processi
----------	---

	di accrescimento ed eiezione dai buchi neri stellari a quelli supermassicci; le proprietà degli AGN e quasar nelle onde EM; il feedback degli AGN sulle galassie e ammassi di galassie; BH binari e merger; onde gravitazionali (GW); evoluzione cosmologica dei BH e delle galassie; abitabilità galattica di esopianeti; maggiori osservatori astrofisici internazionali terrestri e spaziali; astrofisica extragalattica multi-messaggera.
English	<i>What is the origin, growth and evolution of black holes, and what is their influence on the surrounding environment, are fundamental open questions in astrophysics. Indeed, supermassive black holes (SMBHs), whose accretion phases are observable in electromagnetic (EM) radiation as active galactic nuclei (AGN), seem to reside at the center of virtually every galaxy in the Universe, and their activity can have impacts on scales ranging from the event horizon up to galaxy clusters. In this class we will describe the physics of black holes; the accretion and ejection processes from stellar-mass to supermassive black holes; the EM appearance of AGN and quasars; AGN feedback in galaxies and galaxy clusters; binary BHs and mergers; gravitational waves (GWs); the cosmological evolution of BHs and galaxies; galactic habitability of exoplanets; major international ground- and space-based astrophysical observatories; multi-messenger extragalactic astrophysics.</i> DETAILED PROGRAM EACH OF THE 7 CHAPTERS WILL BE TAUGHT WITHIN A TIMESCALE OF 1-2 WEEKS 1 The observational picture of AGN 1.1 Introduction 1.2 Broad lines, narrow lines, and the big blue bump 1.3 Main components of AGN 1.4 Observational channels 1.4.1 X-ray observations: probing the innermost regions 1.4.2 Highest energies: from gamma-rays to the TeV range 2 Radiative processes 2.1 Scattering of photons 2.1.1 Thomson scattering 2.1.2 Compton scattering 2.1.3 Inverse Compton scattering 2.1.4 Thermal bremsstrahlung 2.1.5 Pair production 2.2 Synchrotron emission 2.2.1 Synchrotron emission of a particle plasma 2.2.2 Synchrotron self-absorption 2.2.3 Synchrotron self-Compton 3 The Central Engine 3.1 The black hole



- 3.1.1 *Approaching a black hole*
- 3.1.2 *Evidences for black holes in AGN*
- 3.1.3 *Gravitational field near a black hole: the Schwarzschild metric*
- 3.1.4 *Rotating black holes: the Kerr metric*
- 3.2 *Accretion processes*
- 3.2.1 *Accretion basics: Bondi accretion and the Eddington limit*
- 3.2.2 *Accretion and viscous dissipation in a thin disk*
- 3.2.3 *Accretion in thick disks*
- 3.2.4 *Advection-dominated accretion flows*
- 3.3 *Photoionization modeling*
- 3.4 *Absorption close to a black hole*
- 3.4.1 *Torus model*
- 3.4.2 *Mass loss in AGN*
- 3.5 *Narrow and broad-line regions*
- 3.6 *Reverberation mapping: probing the scale of the BLR*
- 3.7 *AGN jets: emission, dynamics and morphologies*
- 3.7.1 *Raising the jet*
- 3.7.2 *Shocks and knots*
- 3.7.3 *Superluminal motion*
- 4 *AGN Types and Unification*
- 4.1 *Seyfert galaxies (Sys)*
- 4.1.1 *Optical classification*
- 4.1.2 *H II regions*
- 4.1.3 *X-ray classification*
- 4.1.4 *Narrow-Line Seyfert 1 galaxies (NLSy1s)*
- 4.2 *Low-Luminosity AGNs (LLAGNs)*
- 4.3 *Ultraluminous X-ray Sources (ULXs)*
- 4.4 *Ultraluminous Infrared Galaxies (ULIRGs)*
- 4.5 *Radio Galaxies (RGs)*
- 4.6 *Quasars (QSOs)*
- 4.6.1 *Radio-Quiet Quasars (RQ QSOs)*
- 4.6.2 *Radio-Loud Quasars (RL QSOs)*
- 4.6.3 *Broad Absorption Line Quasars (BAL QSOs)*
- 4.7 *Blazars*
- 4.8 *Unification of AGNs*
- 4.8.1 *Absorbed vs. unabsorbed AGNs*
- 4.8.2 *Radio-loud vs. radio-quiet*
- 4.8.3 *Breaking the Unification*
- 4.8.4 *Grand unification of black holes in the Universe*



4.9 "Transient" AGNs: the case of Tidal Disruption Events (TDEs)

4.10 Dual AGNs and binary SMBHs

5 AGNs through the electromagnetic spectrum

5.1 Radio: probing the central engine 5.2 Infrared: dust near and far

5.3 Optical: where it all began

5.4 UV: the obscured inner disk

5.5 X-rays: absorption, reflection, and relativistic lines

5.5.1 AGNs in the X-ray, from 1965 to the 1990s

5.5.2 Today and future X-ray missions

5.5.3 The X-ray spectrum of AGNs

5.6 Gamma-rays: the blazar dominated sky

5.7 Very High Energies

5.7.1 The high-energy end of the spectrum and astroparticles

5.8 The whole picture: the spectral energy distribution

5.8.1 SED of blazars: a whole different story

5.8.1.1 The one-zone model

5.8.1.2 External Compton scattering

5.8.2 The SED of non-beamed sources

5.8.2.1 The synchrotron branch

5.8.2.2 Dust in the SED

5.8.2.3 The disk component

5.8.2.4 The inverse Compton branch

6 The Environment

6.1 Host galaxies of AGNs

6.1.1 Morphological classification of galaxies

6.1.2 Host galaxy and black hole mass

6.1.3 AGN-host galaxy feedback

6.2 The AGN-Starburst connection

6.2.1 Estimating the Star-Formation Rate

6.2.2 AGN-Starburst feedback

6.3 Galaxy mergers

6.4 AGNs in clusters of galaxies

6.5 AGN feedback and galactic habitable zone

7 Formation, Evolution, and the Ultimate Fate of Black Holes and AGNs

7.1 The first black holes: how did they form?

7.2 Tools to study black hole and AGN evolution

7.2.1 The Number-Flux relation

7.2.2 The V/V_{max} test

7.2.3 Luminosity function

	7.3 <i>Luminosity functions of AGN</i> 7.4 <i>The Cosmic X-ray Background (CXB)</i>
--	---

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	Dispense delle lezioni. Beckmann & Shrader, <i>Active Galactic Nuclei</i>, Wiley-VCH. Peterson, <i>An introduction to Active Galactic Nuclei</i>, Cambridge University Press.
English	<i>Lecture Notes.</i> <i>Beckmann & Shrader, Active Galactic Nuclei, Wiley-VCH.</i> <i>Peterson, An introduction to Active Galactic Nuclei, Cambridge University Press.</i>

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Lezione in aula. Presentazioni Power Point. Possibilita' di modalita' mista (presenza e remoto) se necessario.
English	<i>Classroom lectures. Power Point presentations.</i> <i>Possibility of mixed (in person and remote) if necessary.</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Lezioni in aula
English	<i>Class lectures</i>

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

Francesco Tombesi, Hervé Bourdin, Pasquale Mazzotta, Iacopo Bartalucci
--

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La prova di esame si divide in due parti: nella prima gli studenti presentano un articolo di letteratura scientifica a loro scelta su argomenti inerenti il soggetto dell'insegnamento; nella seconda si faranno domande generali sui vari contenuti del programma dell'insegnamento. La prova di esame sarà valutata secondo i seguenti criteri: Non idoneo: importanti carenze e/o inaccuratezza nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi, frequenti generalizzazioni. 18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili imperfezioni; capacità di analisi, sintesi e autonomia di giudizio sufficienti. 21-23: Conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; Capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica coerente. 24-26: Discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso. 27-29: Conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi, sintesi. Buona autonomia di giudizio. 30-30L: Ottimo livello di conoscenza e comprensione degli argomenti. Notevoli capacità di analisi e di sintesi e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale.
English	<i>The exam is divided into two parts: in the first part, students present a scientific literature article of their choice on topics related to the subject of the course; in the second part, general questions will be asked about the various contents of the course program.</i> <i>The examination will be evaluated according to the following criteria:</i> <i>Ineligible: major deficiencies and/or inaccuracy in knowledge and understanding of topics; limited analytical and synthesis skills, frequent generalizations.</i> <i>18-20: knowledge and understanding of topics only sufficient with possible imperfections; analytical skills, synthesis and judgment autonomy just sufficient.</i> <i>21-23: knowledge and understanding of topics at a basic level; Correct analysis and synthesis skills with consistent logical reasoning.</i> <i>24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analytical and synthesis skills with rigorous arguments.</i> <i>27-29: Complete knowledge and understanding of the topics; remarkable ability of analysis, synthesis. Good autonomy of judgment.</i> <i>30-30L: Excellent level of knowledge and understanding of topics. Remarkable ability of analysis and synthesis and autonomy of judgment. Arguments expressed in an original way</i>