

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

NUMERICAL METHODS FOR ASTROPHYSICS

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	FISICA (LM-17)
Codice	8068793-8067538	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Inglese

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Hervé Bourdin

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: I dati astronomici sono spesso registrati numericamente e campionati in tabelle dalle quali bisogna separare il segnale fisico dal rumore, correggendo eventuali distorsioni. Il corso si prefigge di aiutare gli astronomi ad affrontare alcuni problemi incontrati durante l'acquisizione dei segnali, scegliere gli algoritmi più appropriati per l'analisi dei dati, oppure svilupparne altri. Per aiutare gli scienziati a paragonare i vari metodi, alcune nozioni di inferenza statistica, elaborazione dei segnali e delle immagini vengono introdotte nel loro contesto matematico ed ulteriormente illustrate nei laboratori computazionali. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRENSIONE: Il corso comprende lezioni e laboratori sulla teoria delle probabilità, le variabili casuali, i rumori di Gauss e Poisson, le stime dei minimi quadrati, il campionamento e la massimizzazione di verosimiglianza, i metodi di Monte-Carlo con catene di Markov, la trasformata di Fourier, i wavelets e curvelets, il campionamento e l'approssimazione in bassa dimensione, il de-noising e i problemi inversi. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE: Approfondita comprensione delle tecniche di acquisizione dei dati ed estrazione di informazioni. - Buona conoscenza dello stato dell'arte della strumentazione presentemente in uso in ambito astrofisico. AUTONOMIA DI GIUDIZIO:
-----------------	--

	Capacità di eseguire ricerche bibliografiche in tecniche astrofisiche e strumentazione, selezionando i materiali interessanti e valutandone i risultati principali. Capacità di discernere quale sia il miglior metodo per la misura di una sorgente astrofisica. ABILITÀ COMUNICATIVE: Capacità di presentare ed organizzare l'esposizione di un argomento specialistico di approfondimento di tecniche astrofisiche e strumentazione. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Capacità di affrontare nuovi campi attraverso uno studio autonomo.
English	LEARNING OUTCOMES: <i>Modern astronomical data sets are often numerically registered and sampled as data arrays from which physical signals must be separated from one another or background noises, and possibly corrected for distortions. The course aims at helping astronomers address every-day problems encountered when acquiring signals, choose their appropriated data analysis algorithms or develop new ones. To help scientists compare alternative methods, notions of statistical inference, signal and image processing are introduced within their mathematical context and illustrated by computational laboratories.</i> KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: <i>The course includes lectures and tutorials about probability theory, random variables, Gaussian and Poisson noises, least mean squares estimates, likelihood maximisation and sampling, (Monte-Carlo) Markov chains, Fourier and wavelet transforms, low dimension data sampling and approximation, de-noising and inverse problems.</i> APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: <i>Understanding the limits of the instrumentation. - Ability to unassistedly analyse astrophysical data sets.</i> MAKING JUDGEMENTS: <i>Ability to perform bibliographic research on astrophysical techniques and instrumentation, selecting interesting materials and evaluating the main results. Ability to understand which is the best approach to perform an astrophysical measure.</i> COMMUNICATION SKILLS: <i>Ability to present and organize the exposition of a specialized topic of astrophysical methods and instrumentation.</i> LEARNING SKILLS:

	<i>To be able to approach new fields through independent study.</i>
--	---

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenze di base di fisica generale e di analisi matematica.
English	<i>Basic knowledge of general physics and mathematical analysis.</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	• Teoria delle probabilità, assiomi di Kolmogorov, probabilità condizionali e formula di Bayes; • Variabili casuali, funzione di ripartizione, momenti, leggi marginali e condizionali; • Speranza matematica, Ineguaglianza di Cauchy-Schwarz, integrazione in teoria della misura; • Processi di Bernoulli, Poisson, Gauss, convergenza stocastica; • Inferenza statistica, stime puntuali, proprietà degli stimatori (distorsione, varianza), funzione di verosimiglianza, informazione di Fisher, limiti di Rao-Cramer, massimizzazione e campionamento della verosimiglianza, (Monte-Carlo) Markov chains, • Stimatore dei minimi quadrati, teorema di Gauss-Markov; • Elaborazione dei segnali: regolarità e parsimonia, approssimazione e campionamento in bassa dimensione; • Rappresentazioni parsimoniose: base di Fourier, wavelets e curvelets • Problemi inversi e risoluzioni (non) lineare: algoritmi di de-noising d'immagine e separazione di sorgenti,
English	• Probability theory, Kolmogorov axioms, conditional probabilities and Bayes formula; • Random variables, cumulative distribution function, moments, marginal and conditional laws; • Mathematical expectation, Cauchy-Schwarz inequality, integration within measure theory; • Bernoulli, Poisson, Gauss processes, stochastic convergence; • Statistical inference, pointwise estimates, estimator properties (bias, variance), likelihood function, Fisher information, Rao-Cramer bound, likelihood maximisation and sampling, (Monte-Carlo) Markov chains; • Least mean square estimates, Gauss-Markov theorem • Signal processing: regularity and sparsity, low dimension data sampling and approximation; • Sparse representations: Fourier, wavelet, curvelets bases; • (non)-linear solving of inverse problems: image de-noising and source separation;

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	A wavelet tour of Signal Processing. Stéphane Mallat Bruits et signaux. Didier Pelat Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction . Saeed V. Vaseghi
<i>English</i>	A wavelet tour of Signal Processing. Stéphane Mallat Bruits et signaux. Didier Pelat Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction . Saeed V. Vaseghi

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Lezioni frontali in aula, uso della lavagna e altro materiale didattico
<i>English</i>	<i>Classroom lessons, chalkboard and other didactic material</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

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

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	L'esame consiste in un colloquio orale volto a verificare il livello di conoscenza degli argomenti trattati. Per superare l'esame occorre riportare un voto non inferiore a 18/30; più in particolare, 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 consists of an oral interview aimed at verifying the level of knowledge of the topics covered in class.</i> <i>To pass the exam, a grade of not less than 18/30 must be obtained; more specifically, the vote is determined as follows:</i> <i>18-21, if the student has acquired the basic concepts of the discipline, with sufficiently correct and appropriate language;</i> <i>22-25, if the student has acquired the basic concepts of the discipline in depth, and is adequately able both to make connections between the various topics and to explain concepts with appropriate and correct language;</i> <i>26-29, if the student has a complete and well-organized background of knowledge, being able both to apply and re-elaborate independently, without any error, the acquired knowledge, and to highlight logical-analytical skills with an appropriate and rigorous mathematical language;</i> <i>30 and 30 cum laude, if the student has a complete and in-depth knowledge that can be applied to complex cases and new situations as well; the student must explain the topics brilliantly with perfect language properties, as well as mastering the mathematical tools at the basis of the discipline.</i>