

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

APPLICAZIONI BIO-INFORMATICHE IN ECOLOGIA MOLECOLARE

BIOINFORMATICS APPLICATION FOR MOLECULAR ECOLOGY

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	BIOLOGIA AMBIENTALE
Codice	8068345	Canale	Unico
CFU	1+1	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Tommaso Russo (1 CFU)

CODOCENTE

Nadia Marinchel

Laboratorio (1 CFU)

Laboratory (1 CFU)

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: Il corso intende fornire agli studenti una preparazione moderna e interdisciplinare nell'ambito dell'ecologia molecolare applicata allo studio della biodiversità e al monitoraggio degli ecosistemi naturali. Negli ultimi anni, il DNA ambientale (environmental DNA, eDNA), l'avanzamento delle tecnologie di sequenziamento High Throughput Sequencing, HTS), e dell'analisi bioinformatica ha profondamente trasformato il modo in cui biodiversità, comunità biologiche e risorse naturali vengono osservate, monitorate e gestite. Il corso introduce gli studenti ai principi teorici e applicativi che consentono di trasformare dati molecolari grezzi in informazioni ecologiche utili alla comprensione della struttura e del funzionamento degli ecosistemi. Particolare attenzione sarà dedicata alle applicazioni dell'ecologia molecolare nel monitoraggio della biodiversità, nella conservazione delle specie, nella valutazione dello stato ecologico degli ambienti acquatici e terrestri e nello sviluppo di strumenti innovativi per la gestione sostenibile delle risorse naturali. Attraverso un approccio fortemente applicativo, gli studenti acquisiranno familiarità con le principali tipologie di dati molecolari utilizzate in ecologia, con i relativi workflow bioinformatici e con le problematiche connesse alla produzione, gestione, analisi e interpretazione dei dati. Verranno inoltre illustrati numerosi casi di studio reali tratti dalla letteratura scientifica internazionale e da progetti di ricerca attualmente in corso nel campo del monitoraggio ambientale e della biodiversità. Particolare rilevanza sarà attribuita alle nuove frontiere dell'ecologia molecolare, quali l'utilizzo dell'eDNA metabarcoding per il monitoraggio degli ecosistemi, delle comunità
-----------------	---

biologiche, il sequenziamento shotgun applicato agli studi ecologici e l'integrazione tra dati molecolari, osservazioni ecologiche tradizionali e sistemi di monitoraggio ambientale.

L'obiettivo finale del corso è fornire agli studenti gli strumenti concettuali e operativi necessari per comprendere, valutare e utilizzare criticamente dati molecolari e bioinformatici nell'ambito dell'ecologia, della conservazione della biodiversità e della gestione sostenibile delle risorse naturali.

CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE:

Al termine del corso gli studenti avranno acquisito una conoscenza approfondita dei principi dell'ecologia molecolare e delle principali applicazioni bioinformatiche utilizzate per lo studio della biodiversità e degli ecosistemi. E' atteso che gli studenti acquisiscano:

- i fondamenti biologici e molecolari alla base dell'utilizzo del DNA come strumento di monitoraggio ecologico;
- i principi dell'Environmental DNA (eDNA) metabarcoding e delle tecnologie di sequenziamento di nuova generazione (NGS);
- le principali fonti di dati genetici e genomici utilizzate in ecologia;
- la struttura e il funzionamento delle principali banche dati;
- le pipeline bioinformatiche impiegate per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati;
- le opportunità e i limiti delle metodologie molecolari applicate al monitoraggio ambientale;
- le principali applicazioni dell'ecologia molecolare nella conservazione della biodiversità e nella gestione sostenibile delle risorse naturali.

CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE:

Gli studenti saranno in grado di:

- comprendere e descrivere le diverse fasi di un workflow di ecologia molecolare;
- valutare criticamente la qualità e l'affidabilità dei dati molecolari;
- interpretare i risultati derivanti da studi di eDNA metabarcoding e genomica ambientale;
- integrare informazioni provenienti da fonti molecolari, ecologiche e ambientali mediante opportune tecniche di analisi ecologia multivariata;
- applicare le conoscenze acquisite all'analisi di problemi reali riguardanti biodiversità, conservazione e monitoraggio ambientale.

Particolare attenzione sarà dedicata all'interpretazione ecologica dei risultati, evitando una visione puramente tecnica della bioinformatica e favorendo la comprensione del significato biologico ed ecologico delle informazioni prodotte.

AUTONOMIA DI GIUDIZIO:

Gli studenti svilupperanno la capacità di analizzare criticamente la letteratura scientifica relativa all'ecologia molecolare e alle sue applicazioni. Essi dovranno:

- valutare punti di forza e limiti dei diversi approcci metodologici;
- riconoscere potenziali fonti di errore e bias nei dati molecolari;
- interpretare criticamente i risultati ottenuti da differenti strategie analitiche;

	• discutere l'utilità dei dati molecolari nei processi decisionali relativi alla conservazione della biodiversità e alla gestione delle risorse naturali. L'analisi e la discussione di casi di studio reali rappresenteranno uno strumento fondamentale per sviluppare capacità critiche e autonomia di giudizio. ABILITÀ COMUNICATIVE: Gli studenti acquisiranno la capacità di comunicare in modo efficace concetti, metodi e risultati relativi all'ecologia molecolare e alle sue applicazioni. La partecipazione attiva alle discussioni e la presentazione di casi studio costituiranno parte integrante del percorso formativo. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Gli studenti svilupperanno la capacità di aggiornare autonomamente le proprie conoscenze in un settore caratterizzato da una rapidissima evoluzione tecnologica e metodologica. Le competenze acquisite consentiranno agli studenti di affrontare successivi percorsi di ricerca o applicazioni professionali nei settori dell'ecologia molecolare, del monitoraggio ambientale, della conservazione della biodiversità e della gestione sostenibile delle risorse naturali.
English	LEARNING OUTCOMES <i>The course aims to provide students with a modern and interdisciplinary background in molecular ecology applied to biodiversity assessment and ecosystem monitoring. In recent years, the development of High-Throughput Sequencing (HTS) technologies, Environmental DNA (eDNA), and bioinformatic analysis has profoundly transformed the way biodiversity, biological communities, and natural resources are observed, monitored, and managed.</i> <i>The course introduces students to the theoretical and practical principles that enable the transformation of raw molecular data into ecological information useful for understanding ecosystem structure and functioning. Particular emphasis will be placed on the applications of molecular ecology to biodiversity monitoring, species conservation, ecological status assessment of aquatic and terrestrial environments, and the development of innovative tools for the sustainable management of natural resources.</i> <i>Through a strongly application-oriented approach, students will become familiar with the main types of molecular data used in ecological research, the associated bioinformatic workflows, and the challenges related to data generation, management, processing, analysis, and interpretation. Numerous real-world case studies drawn from the international scientific literature and from ongoing research projects in the fields of biodiversity assessment and environmental monitoring will be presented and discussed.</i> <i>Special attention will be devoted to emerging frontiers in molecular ecology, including the use of eDNA for ecosystem monitoring, DNA metabarcoding of biological communities, shotgun sequencing applied to ecological studies, and the integration of molecular information with traditional ecological observations and environmental monitoring systems.</i> <i>The ultimate goal of the course is to provide students with the conceptual and operational tools required to understand, critically evaluate, and effectively use molecular and</i>



bioinformatic data in ecology, biodiversity conservation, environmental monitoring, and the sustainable management of natural resources.

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING

By the end of the course, students will have acquired a thorough understanding of the principles of molecular ecology and the major bioinformatic applications used in biodiversity and ecosystem studies.

Students are expected to acquire knowledge of:

- *the biological and molecular foundations underlying the use of DNA as a tool for ecological monitoring;*
- *the principles of Environmental DNA (eDNA), DNA metabarcoding, and Next-Generation Sequencing (NGS) technologies;*
- *the main sources of genetic and genomic data used in ecological research;*
- *the structure and functioning of major molecular databases;*
- *the bioinformatic workflows employed for data processing and interpretation;*
- *the opportunities and limitations of molecular approaches applied to environmental monitoring;*
- *the principal applications of molecular ecology in biodiversity conservation and the sustainable management of natural resources.*

APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING

Students will be able to:

- *understand and describe the different stages of a molecular ecology workflow;*
- *critically evaluate the quality and reliability of molecular datasets;*
- *interpret the results of metabarcoding, eDNA, and environmental genomics studies;*
- *integrate molecular, ecological, and environmental information through appropriate multivariate ecological analyses;*
- *apply the acquired knowledge to real-world problems related to biodiversity assessment, conservation, and environmental monitoring.*

Particular attention will be devoted to the ecological interpretation of analytical outputs, moving beyond a purely technical view of bioinformatics and fostering an understanding of the biological and ecological significance of the information generated.

MAKING JUDGEMENTS

Students will develop the ability to critically analyse the scientific literature related to molecular ecology and its applications.

In particular, they will learn to:

- *evaluate the strengths and limitations of different methodological approaches;*
- *identify potential sources of error and bias in molecular datasets;*
- *critically interpret results obtained through different analytical strategies;*
- *discuss the role and usefulness of molecular information in decision-making processes related to biodiversity conservation and natural resource management.*

	<i>The analysis and discussion of real-world case studies will represent a key component of the course and a primary tool for developing critical thinking and independent judgement.</i> COMMUNICATION SKILLS <i>Students will acquire the ability to communicate effectively concepts, methods, and results related to molecular ecology and its applications.</i> <i>Active participation in discussions, critical evaluation of scientific literature, and the presentation of case studies will constitute an integral part of the learning process and will contribute to the development of appropriate scientific communication skills.</i> LEARNING SKILLS <i>Students will develop the ability to independently update and expand their knowledge in a field characterized by rapid technological and methodological innovation.</i> <i>The skills acquired during the course will enable students to pursue further academic research or professional activities in the fields of molecular ecology, environmental monitoring, biodiversity conservation, and the sustainable management of natural resources.</i>
--	--

PREREQUISITI

Italiano	È richiesta una conoscenza di base di biologia molecolare, ecologia e scienze della biodiversità. Gli studenti devono avere familiarità con i concetti fondamentali della genetica, della struttura e della funzione del DNA, nonché con i processi ecologici che operano a livello di popolazione, comunità ed ecosistema. Si raccomanda una conoscenza di base dell'ambiente R e dei sistemi operativi basati su Linux, comprese le operazioni elementari da riga di comando e l'esecuzione di semplici flussi di lavoro analitici. Tuttavia, gli strumenti computazionali richiesti per il corso saranno presentati e contestualizzati durante le attività didattiche.
English	<i>Basic knowledge of molecular biology, ecology, and biodiversity science is required. Students are expected to be familiar with fundamental concepts of genetics, DNA structure and function, and ecological processes operating at the population, community, and ecosystem levels.</i> <i>A basic familiarity with the R environment and Linux-based operating systems is recommended, including elementary command-line operations and the execution of simple analytical workflows. However, the computational tools required for the course will be introduced and contextualized during the teaching activities.</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	I Il corso si articola in 16 ore di attività didattica frontale integrate da esercitazioni guidate, discussione di casi studio e attività applicative basate su dati reali.
----------	--

	Modulo 1 – Introduzione all'ecologia molecolare (4 ore) • Principi di ecologia molecolare. • DNA, marcatori molecolari e informazione ecologica. • Applicazioni della genetica e della genomica in ecologia. • Conservazione genetica e biodiversità. Modulo 2 – Environmental DNA e nuove tecnologie di monitoraggio (4 ore) • Principi dell'eDNA. • Analisi molecolare del DNA ambientale • Tecnologie NGS. • Campionamento, conservazione e preparazione dei campioni. • Potenzialità e limiti dell'eDNA. • Applicazioni al monitoraggio della biodiversità e delle specie rare o invasive. Modulo 3 – Workflow bioinformatici e gestione dei dati (4 ore) • Introduzione alle pipeline bioinformatiche. • Controllo qualità dei dati. • Filtraggio e processamento delle sequenze. • Assegnazione tassonomica. • Banche dati molecolari di riferimento. • Organizzazione e gestione dei dati. • Riproducibilità delle analisi. Modulo 4 – Applicazioni all'ecologia e alla gestione delle risorse naturali (4 ore) • Interpretazione ecologica dei dati molecolari. • Biodiversità e indicatori ecologici. • Applicazioni alla conservazione delle specie. • Monitoraggio degli ecosistemi acquatici. • Integrazione tra dati molecolari, osservazioni ecologiche tradizionali e sistemi di monitoraggio ambientale. • Discussione di casi studio reali.
English	<i>The course consists of 16 hours of lectures integrated with guided exercises, case-study discussions, and applied activities based on real-world datasets.</i> Module 1 – Introduction to Molecular Ecology (4 hours) • <i>Principles of molecular ecology.</i> • <i>DNA, molecular markers, and ecological information.</i> • <i>Applications of genetics and genomics in ecology.</i> • <i>Genetic conservation and biodiversity.</i> Module 2 – Environmental DNA and Emerging Monitoring Technologies (4 hours) • <i>Principles of Environmental DNA (eDNA).</i> • <i>DNA metabarcoding and high-throughput sequencing.</i>

	• <i>Next-Generation Sequencing (NGS) technologies.</i> • <i>Sampling design, sample preservation, and laboratory preparation.</i> • <i>Strengths and limitations of eDNA-based approaches.</i> • <i>Applications to biodiversity monitoring and the detection of rare or invasive species.</i> Module 3 – Bioinformatic Workflows and Data Management (4 hours) • <i>Introduction to bioinformatic pipelines.</i> • <i>Data quality control.</i> • <i>Sequence filtering and processing.</i> • <i>Taxonomic assignment.</i> • <i>Reference databases.</i> • <i>Data organization and management.</i> • <i>Reproducibility and transparency in bioinformatic analyses.</i> Module 4 – Applications to Ecology and Natural Resource Management (4 hours) • <i>Ecological interpretation of molecular data.</i> • <i>Biodiversity assessment and ecological indicators.</i> • <i>Applications to species conservation.</i> • <i>Monitoring of aquatic ecosystems.</i> • <i>Integration of molecular data with traditional ecological observations and environmental monitoring systems.</i> • <i>Discussion of real-world case studies.</i>
--	---

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	
English	

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Il corso sarà svolto attraverso lezioni frontali supportate da presentazioni multimediali, discussione guidata della letteratura scientifica, analisi di casi studio e attività applicative. Particolare attenzione sarà dedicata alla presentazione di esempi reali relativi al monitoraggio della biodiversità e degli ecosistemi mediante tecniche molecolari innovative. Il materiale didattico comprenderà presentazioni, articoli scientifici, dataset, banche dati e risorse digitali che saranno resi disponibili agli studenti attraverso la piattaforma Microsoft Teams. La disponibilità di tali materiali consentirà anche agli studenti impossibilitati a frequentare regolarmente le lezioni di seguire efficacemente il percorso formativo.
----------	--

English	The course will be delivered through lectures supported by multimedia presentations, guided discussions of the scientific literature, case-study analyses, and hands-on applied activities. Particular emphasis will be placed on the presentation and discussion of real-world examples involving biodiversity and ecosystem monitoring through innovative molecular approaches. Teaching materials will include lecture presentations, scientific articles, datasets, molecular databases, and digital resources, all of which will be made available to students through the Microsoft Teams platform. The availability of these materials will also enable students who are unable to attend classes regularly to effectively follow the course and achieve the intended learning outcomes.
---------	--

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Lezioni in aula e esercitazioni in laboratori di ricerca.
English	Class lectures and training in research labs.

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

Tommaso Russo, Nadia Marinchel

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	L'esame consiste in un colloquio orale collegato all'esposizione di un progetto sviluppato dallo studente, a partire da dati forniti dai docenti o reperiti autonomamente. Per superare l'esame occorre riportare un voto non inferiore a 18/30; più in particolare, la votazione è così determinata: 18-21, se lo studente ha acquisito i concetti di base della disciplina, modo di esprimersi e linguaggio sufficientemente corretti e appropriati; 22-25, se lo studente ha acquisito in maniera approfondita i concetti di base della disciplina, ed è adeguatamente in grado di effettuare i collegamenti fra i vari argomenti che esprime con linguaggio appropriato e corretto; 26-29, qualora lo studente dimostri di possedere un bagaglio di conoscenze completo e ben organizzato, essendo in grado sia di applicare e rielaborare in maniera autonoma, senza alcun errore, le conoscenze acquisite, sia di evidenziare capacità logico-analitiche con un linguaggio, anche matematico, appropriato e rigoroso;
----------	--

	30 e 30 e lode, se lo studente possiede un bagaglio di conoscenze approfondito che sa applicare anche a casi e problemi complessi, nonché a situazioni nuove, esprimendosi con brillantezza e perfetta proprietà di linguaggio oltre a padroneggiare gli strumenti matematici a fondamento della disciplina.
English	<i>The examination consists of an oral interview linked to the presentation of a project developed by the student, based on data provided by the lecturers or sourced independently. 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>