

Sensori Biomolecolari e Tecnologie Analitiche Avanzate

Biomolecular Sensors and Advanced Analytical Technologies

A.A.	2025/2026	CdS	Chimica
Codice	8067858	Canale	—
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE

Alessandro Porchetta

OBIETTIVI FORMATIVI

Italiano	<p>OBIETTIVI FORMATIVI: Il corso si propone di insegnare agli studenti i concetti base e i principi delle piattaforme biosensoristiche e bioanalitiche avanzate con applicazione nell'ambito biomedico, ed in particolare nella diagnostica molecolare. Il focus didattico sarà rivolto agli aspetti del design biomolecolare, dei metodi di trasduzione del segnale e all'integrazione delle piattaforme in dispositivi di tipo Point-of-Care (POC).</p> <p>CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: Lo studente, al termine del corso, dovrà conoscere gli argomenti di carattere fondamentale della piattaforme biosensoristiche, e i concetti avanzati relativi alle piattaforme bioanalitiche avanzate.</p> <p>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Alla fine dell'insegnamento lo studente dovrà essere in grado di definire i campi di applicazione e i limiti dei biosensori, oltre ad avere piena conoscenza degli elementi necessari per la loro realizzazione, quali i recettori biomolecolari (acidi nucleici, enzimi, anticorpi, etc.), i nanomateriali, e gli elementi necessari alla trasduzione ottica/elettrochimica del segnale.</p> <p>AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Lo studente dovrà dimostrare di sapere comprendere e interpretare in maniera autonoma e critica le conoscenze acquisite, in modo da essere in grado di riconoscere limiti e potenzialità delle piattaforme sensoristiche biomolecolari. L'autonomia di giudizio viene sviluppata mediante il confronto con il docente in aula e il confronto con i colleghi nello sviluppo di una tesina di gruppo.</p> <p>ABILITÀ COMUNICATIVE: Lo studente dovrà essere in grado di comunicare in modo chiaro, corretto e privo di ambiguità le proprie conoscenze acquisite durante il corso. Questo aspetto verrà promosso dedicando 10-15 minuti di ogni lezione alla revisione, e all'eventuale chiarificazione, dei concetti acquisiti nel corso della lezione precedente e stimolando gli studenti alla partecipazione di una discussione di classe.</p> <p>CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Lo studente dovrà aver acquisito capacità adeguate per un ulteriore sviluppo e approfondimento di competenze nell'ambito delle tecniche bioanalitiche avanzate. La valutazione della capacità di apprendimento viene valutata in occasione degli esami, anche attraverso la presentazione della tesina tematica sviluppata a partire dalla selezione di articoli di ricerca tematici, oltre che durante i 15 minuti di discussione pianificati all'inizio di ogni lezione.</p>
<i>Inglese</i>	<p>LEARNING OUTCOMES: <i>The course aims to teach students the basic concepts and principles of advanced biosensoristic and bioanalytical platforms with applications in the biomedical field, particularly in molecular diagnostics. The educational focus will be on</i></p>

	<p><i>aspects of biomolecular design, signal transduction methods, and the integration of platforms into Point-of-Care (POC) devices.</i></p> <p><i>KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: By the end of the course, the student should be familiar with fundamental topics of biosensor platforms and advanced concepts related to bioanalytical platforms.</i></p> <p><i>APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Upon completion of the course, the student should be able to define the applications and limitations of biosensors, as well as have a thorough understanding of the elements necessary for their development, including biomolecular receptors (nucleic acids, enzymes, antibodies, etc.), nanomaterials, and elements necessary for optical/electrochemical signal transduction.</i></p> <p><i>MAKING JUDGEMENTS: The student should demonstrate the ability to independently and critically understand and interpret the acquired knowledge, in order to recognize the limitations and potential of biomolecular sensor platforms. Judgement autonomy is developed through comparison with the instructor in the classroom and discussion with peers in the development of a group thesis.</i></p> <p><i>COMMUNICATION SKILLS: The student should be able to communicate clearly, correctly, and unambiguously the acquired knowledge during the course. This aspect will be promoted by dedicating 10-15 minutes of each lesson to review and clarify the concepts acquired in the previous lesson and by encouraging students to participate in class discussions.</i></p> <p><i>LEARNING SKILLS: The student should have acquired adequate skills for further development and deepening of competencies in the field of advanced bioanalytical techniques. The assessment of learning ability is evaluated during exams, including through the presentation of the thematic thesis developed from the selection of thematic research articles, as well as during the 15 minutes of discussion scheduled at the beginning of each lesson.</i></p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PREREQUISITI

Italiano	Per affrontare in maniera proficua il corso di biosensori molecolari e piattaforme analitiche avanzate gli studenti devono possedere competenze di chimica analitica, biochimica, chimica dei materiali e chimica fisica.
<i>Inglese</i>	<i>To effectively tackle the course on molecular biosensors and advanced analytical platforms, students should possess skills in analytical chemistry, biochemistry, materials chemistry, and physical chemistry.</i>

PROGRAMMA

Italiano	Una parte iniziale è dedicata all'introduzione dei concetti generali, storici e di contesto (Parte 1, 8 ore); una seconda parte di approfondimento su elementi di riconoscimento, metodi di trasduzione del segnale, metodi di immobilizzazione dei recettori biomolecolari, biosensori enzimatici e a DNA (Parte 2, 28 ore). La parte conclusiva del corso (12 ore) si svilupperà con attività seminariali tematiche sui più recenti sviluppi del campo di ricerca, con un focus sull'interfaccia con le nanobioteologie..
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>PARTE 1: Introduzione ai biosensori: storia, specifiche dei biosensori e prestazioni analitiche, classificazione dei biosensori mediante elementi di riconoscimento molecolare e sistema di trasduzione, biosensori catalitici e basati sull'affinità.</p> <p>PARTE 2: Elementi di riconoscimento molecolare: enzimi, anticorpi, anticorpi bispecifici, nanobodies, proteine leganti non anticorpali, polimeri con impronta molecolare, aptameri, DNA, RNA, PNA.</p> <p>Curve di associazione ligando-recettore in soluzione. Considerazioni cinetiche e termodinamiche sui processi di associazione in soluzione.</p> <p>Panoramica sui principali sistemi di trasduzione del segnale (assorbanza, fluorescenza, chemiluminescenza, plasmonica, elettrochimica, piezoelettrica), principi base e loro applicazione nella biosensoristica.</p> <p>Principi e metodi per l'immobilizzazione di biomolecole.</p> <p>Biosensori basati su reazioni enzimatiche, elettrodo di Clark, biosensore per la rilevazione del glucosio di prima, seconda, terza e quarta generazione. Monitoraggio in continuo del glucosio.</p> <p>Biosensori a DNA di ibridazione (affinità) ottici ed elettrochimici. Concetti base, esempi. DNA switches, biosensori basati su reazioni di sostituzione di acido nucleico (Strand Displacement Reaction).</p> <p>Accenni sui sistemi di amplificazione degli acidi nucleici basati su enzimi (PCR, LAMP, etc.) e sistemi basati su ibridazione di acidi nucleici "enzyme-free" (HCR, CHA, etc.) per applicazioni bioanalitiche.</p> <p>PARTE 3. Il ruolo delle nanobiotecnologie e della biologia sintetica nello sviluppo dei biosensori analitici:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Biosensori cellulari luminescenti, geni reporter, cell-free biosensors e introduzione alla tecnologia CRISPR-Cas per applicazioni bioanalitiche. - Principi di biosensori cellulari luminescenti, geni reporter, elementi di riconoscimento molecolare, biosensori cellulari basati su processi FRET e BRET. - Biosensori ultrasensibili, sfide e problematiche. Accenni su nanopore technology, sensori plasmonici a rilevazione di singola molecola. - Dispositivi analitici integrati per applicazioni point of care e point of need, con valutazione critica dei principali vantaggi e limitazioni delle diverse strategie di biosensing introdotte nel corso.
<p>Inglese</p>	<p><i>An initial part is dedicated to introducing general, historical, and contextual concepts (Part 1, 8 hours); a second part focuses on the recognition elements, signal transduction methods, biomolecular receptor immobilization methods, enzyme and DNA biosensors (Part 2, 28 hours). The concluding part of the course (12 hours) will consist of thematic seminar activities on the most recent developments in the research field, focusing on the interface with nanobiotechnologies.</i></p> <p><i>PART 1: Introduction to biosensors: history, biosensor specifications and analytical performance, biosensor classification by molecular recognition elements and transduction system, catalytic and affinity-based biosensors. PART 2: Elements of molecular recognition: enzymes, antibodies, bispecific antibodies, nanobodies, non-antibody binding proteins, molecularly imprinted polymers, aptamers, DNA, RNA, PNA. Ligand-receptor association curves in solution. Kinetic and thermodynamic considerations on association processes in solution. Overview of the main signal transduction systems (absorbance, fluorescence, chemiluminescence, plasmonics, electrochemistry, piezoelectric), basic principles and their application in biosensing. Principles and methods for the immobilization of biomolecules. Biosensors based on enzymatic reactions, Clark electrode, glucose biosensor of first, second, third, and fourth generation. Continuous glucose monitoring. Optical and electrochemical DNA hybridization (affinity) biosensors. Basic concepts, examples. DNA switches, biosensors based on nucleic acid strand displacement reactions. Introduction to nucleic acid amplification systems based on enzymes (PCR, LAMP, etc.) and enzyme-free nucleic acid hybridization systems (HCR, CHA, etc.) for bioanalytical applications. PART 3. The role of nanobiotechnology and synthetic biology in the development of analytical biosensors: Luminescent cellular biosensors, reporter genes, cell-free biosensors, and an</i></p>

	<p><i>introduction to CRISPR-Cas technology for bioanalytical applications. Principles of luminescent cellular biosensors, reporter genes, molecular recognition elements, cellular biosensors based on FRET and BRET processes. Ultrasensitive biosensors, challenges, and issues. Introduction to nanopore technology, plasmonic sensors for single-molecule detection. Integrated analytical devices for point of care and point of need applications, with a critical evaluation of the main advantages and limitations of the various biosensing strategies introduced in the course.</i></p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA

Italiano	<p>Materiale didattico: libro di testo Biosensors: Essentials – G. Evtugyn (Springer) e le diapositive delle lezioni disponibili sulla piattaforma di Ateneo (Didattica Web) prima di ogni lezione.</p> <p>Ulteriori articoli oggetto di esame:</p> <p>Wu Y, Tilley RD, Gooding JJ. Challenges and solutions in developing ultrasensitive biosensors. <i>Journal of the American Chemical Society</i>. 2018 Nov 21;141(3):1162-70.</p> <p>Bao M, Chen Q, Xu Z, Jensen EC, Liu C, Waitkus JT, Yuan X, He Q, Qin P, Du K. Challenges and opportunities for clustered regularly interspaced short palindromic repeats based molecular biosensing. <i>ACS sensors</i>. 2021 Jun 18;6(7):2497-522.</p> <p>Ligler FS, Gooding JJ. Lighting up biosensors: Now and the decade to come. <i>Analytical chemistry</i>. 2019 Jun 24;91(14):8732-8.</p> <p>Ricci F, Vallée-Bélisle A, Simon AJ, Porchetta A, Plaxco KW. Using nature's "tricks" to rationally tune the binding properties of biomolecular receptors. <i>Accounts of chemical research</i>. 2016 Sep 20;49(9):1884-92.</p> <p>Gooding JJ, Gaus K. Single-molecule sensors: challenges and opportunities for quantitative analysis. <i>Angewandte Chemie International Edition</i>. 2016 Sep 12;55(38):11354-66.</p>
Inglese	<p><i>Teaching material:</i></p> <p><i>Book: Biosensors: Essentials – G. Evtugyn (Springer) and lecture slides available on the University platform (Didattica Web) before each lesson.</i></p> <p><i>Selected research articles mandatory for the examination:</i></p> <p>Wu Y, Tilley RD, Gooding JJ. Challenges and solutions in developing ultrasensitive biosensors. <i>Journal of the American Chemical Society</i>. 2018 Nov 21;141(3):1162-70.</p> <p>Bao M, Chen Q, Xu Z, Jensen EC, Liu C, Waitkus JT, Yuan X, He Q, Qin P, Du K. Challenges and opportunities for clustered regularly interspaced short palindromic repeats based molecular biosensing. <i>ACS sensors</i>. 2021 Jun 18;6(7):2497-522.</p> <p>Ligler FS, Gooding JJ. Lighting up biosensors: Now and the decade to come. <i>Analytical chemistry</i>. 2019 Jun 24;91(14):8732-8.</p> <p>Ricci F, Vallée-Bélisle A, Simon AJ, Porchetta A, Plaxco KW. Using nature's "tricks" to rationally tune the binding properties of biomolecular receptors. <i>Accounts of chemical research</i>. 2016 Sep 20;49(9):1884-92.</p> <p>Gooding JJ, Gaus K. Single-molecule sensors: challenges and opportunities for quantitative analysis. <i>Angewandte Chemie International Edition</i>. 2016 Sep 12;55(38):11354-66.</p>

MODALITÀ DI SVOLGIMENTO

Italiano	<p>La metodologia didattica impiegata consiste in 48 ore di didattica frontale in aula (4 ore settimanali).</p> <p>Il corso si articola in una serie di lezioni frontali con proiezione di diapositive e discussione con gli studenti. L'interesse degli studenti viene stimolato illustrando applicazioni pratiche dei concetti introdotti e tramite esercitazioni in classe.</p> <p>Un'attività di supporto viene svolta per chiarimenti/approfondimenti sugli argomenti del corso e sull'argomento selezionato per la tesina tematica, su richiesta degli studenti previo appuntamento via mail (singoli o piccoli gruppi).</p>
Inglese	<p><i>The teaching methodology employed consists of 48 hours of frontal teaching in the classroom (4 hours per week). The course is structured into a series of frontal lectures with slide presentations and discussions with the students. Student engagement is stimulated by illustrating practical applications of the introduced concepts and through in-class exercises. Support activities are conducted for clarifications/deeper insights on course topics and the topic selected for the thematic thesis, upon students' request by appointment via email (individual or small groups).</i></p>

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

Prova orale Valutazione di progetto

Italiano	<p>Lo scopo dell'esame è verificare il livello di raggiungimento dei risultati di apprendimento. L'esame consiste in un colloquio orale della durata di 30-45 minuti, volto a verificare l'effettivo conseguimento delle conoscenze e le capacità di comunicazione dello studente. La discussione inizia con tre domande sugli argomenti generali del corso e proseguirà con la discussione critica di una tesina tematica sviluppata a partire dalla letteratura scientifica su un argomento concordato tra lo studente e il docente. Commissione esaminatrice valuterà la capacità di apprendimento (learning skills) (50% del punteggio), l'autonomia di giudizio (making judgements) (25% del punteggio) e le abilità comunicative (communication skills) (25% del punteggio), secondo quanto indicato nei descrittori di Dublino.</p> <p>Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi. L'esame viene superato con un voto uguale o superiore a 18/30.</p> <p>18-21, lo studente ha acquisito i concetti di base della disciplina, modo di esprimersi e linguaggio sufficientemente corretti e appropriati.</p> <p>22-25, lo studente ha acquisito in maniera approfondita i concetti di base della disciplina, ed è adeguatamente in grado di effettuare i collegamenti fra le varie materie. Presenta linearità nella strutturazione del discorso. Il linguaggio è appropriato e corretto.</p> <p>26-29, lo studente possiede un bagaglio di conoscenze completo e ben strutturato. È in grado di applicare e rielaborare in maniera autonoma, senza alcun errore, le conoscenze acquisite. Evidenzia ricchezza di riferimenti e capacità logico-analitiche con un linguaggio fluido, appropriato e vario.</p> <p>30 e 30 e lode, lo studente possiede un bagaglio di conoscenze completo e approfondito. Sa applicare conoscenze a casi e problemi complessi ed estenderle a situazioni nuove. I riferimenti culturali sono ricchi e aggiornati. Si esprime con brillantezza e perfetta proprietà di linguaggio.</p>
Inglese	<p><i>The purpose of the exam is to assess the level of achievement of the learning outcomes. The exam consists of an oral interview lasting 30-45 minutes, aimed at verifying the actual acquisition of knowledge and the student's communication skills. The discussion begins with three questions on the general topics of the course and continues with the critical discussion of a thematic thesis developed from the scientific literature on a topic agreed upon between the student and the instructor. The examining committee will evaluate the learning skills (50% of the score), judgement autonomy (25% of the score), and communication skills (25% of the score), according to the descriptors of Dublin. The exam is passed with a grade equal to or higher than 18/30.</i></p>



	<p>18-21: <i>The student has acquired the basic concepts of the discipline, and their way of expression and language are sufficiently correct and appropriate.</i></p> <p>22-25: <i>The student has thoroughly acquired the basic concepts of the discipline and is adequately able to make connections between various subjects. They demonstrate coherence in structuring their discourse, and their language is appropriate and correct.</i></p> <p>26-29: <i>The student possesses a comprehensive and well-structured body of knowledge. They can apply and rework acquired knowledge independently, without errors. They demonstrate richness of references and logical-analytical abilities with fluent, appropriate, and varied language.</i></p> <p>30 and honors: <i>The student possesses a complete and in-depth body of knowledge. They can apply knowledge to complex cases and problems and extend it to new situations. Their cultural references are rich and up-to-date. They express themselves with brilliance and perfect language proficiency.</i></p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

MODALITÀ DI FREQUENZA

Frequenza facoltativa

Italiano	La frequenza al corso è resa facoltativa, benché gli studenti siano fortemente incoraggiati a frequentare con continuità le lezioni.
Inglese	<i>The attendance to the course is not compulsory, although we strongly encourage the students to follow the lessons with continuity.</i>