

PROPOSTE DI ATTIVITA' DI DOTTORATO IN INGEGNERIA DEI PRODOTTI E DEI PROCESSI INDUSTRIALI XLII CICLO

INDICE

1)Proponente: Prof. Paolo Netti – progetto GAME CRIB.....	9
Tematica di ricerca proposta: Living growth of advanced bacterial cellulose materials for space manufacturing	9
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	9
2)Proponente: Paolo Netti– CRIB BRIEFS	11
Tematica di ricerca proposta: Engineering Living Growing Materials for Functional Bioactuation	11
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	11
3)Proponente: Paolo Netti– CRIB BRIEFS	13
Tematica di ricerca proposta: Engineering Living Growing Materials for Adaptive Barrier Systems	13
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	13
4)Proponente: Paolo Netti - progetto GAME CRIB	15
Tematica di ricerca proposta: Biofabrication of bacterial cellulose fibres for sustainable space textile manufacturing	15
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	15
5)Proponente: Paolo Netti/Isabella Maremonti – CRIB SYMPHONY	17
Tematica di ricerca proposta: Engineering Programmable Hydrogel Microspheres for Precision Endovascular Embolization	17
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	17
6)Proponente: Paolo Netti / Isabella Maremonti– CRIB SYMPHONY	19
Tematica di ricerca proposta: Predictive Engineering of Programmable Hydrogel Microspheres for Personalized Endovascular Embolization	19
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	19
7)Proponente: Paolo Netti/Francesco Urciulo - MINISTERIALE	21
Tematica di ricerca proposta: Tissue fibrosis on Chip.....	21
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri.....	21
8)Proponente: Francesco Urciuolo and Paolo Netti - MINISTERIALE	23
Tematica di ricerca proposta: Developmentally Programmed Growing Muscle for Living Bioactuators	23
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	23

9) Proponente: Prof. Antonio Abate, Prof. Paolo Netti, Prof. Filippo Causa	25
Tematica di ricerca proposta: Sonde luminescenti a base di perovskite per sistemi avanzati di rilevamento dei microRNA	25
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione.....	25
10) Proponent: Prof. Antonio Abate / Daniele Tammaro / Concetta Di Natale - DICMaPI	27
Proposed research topic: Design, CFD modelling, manufacturing and validation of a microfluidic platform for confined and controlled growth of perovskite single crystals for solar, optoelectronic and neuromorphic transistor devices.....	27
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering X Technologies and Production Systems	27
11) Proponent: Prof. Veronica Ambrogi - ENG	29
Proposed research topic: Development of recyclable epoxy vitrimer composites containing active fillers	29
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Technologies and Production Systems	29
ITA	30
12) Proponent: Prof. Paolo Aprea - ENG	32
Proposed research topic: Design and 3D Printing of Functional Ceramic Materials for Catalytic and Environmental Applications.....	32
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering.....	32
ITA	33
13) Proponent: Antonello Astarita - ENG.....	35
Proposed research topic: Digital and sustainable manufacturing	35
Reference curriculum: Technologies and Production Systems.....	35
ITA	36
14) Proponent: Prof. Sergio Caserta - ENG.....	39
Proposed research topic: Viscoelastic Emulsion Stability under Altered Gravity Conditions for Space Life Support Systems	39
Reference curriculum: Chemical engineering.....	39
ITA	41
15) Proponent: Prof. Bruno de Gennaro e Prof. Giuseppina Luciani - ENG.....	45
Proposed research topic: Natural zeolite-based biocomposites for catalytic removal of emerging contaminants.	45
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering.....	45
ITA	46
16) Proponente: Prof. Ernesto Di Maio - ITA	49
Tematica di ricerca proposta: Ruolo della cristallinità nella schiumatura dei polimeri semicristallini: dalla comprensione dei meccanismi fondamentali alla progettazione di materiali cellulari innovativi.....	49
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture, Ingegneria Chimica.	49
ENG	50

17)Proponente: Prof. Ernesto Di Maio - ITA	52
Tematica di ricerca proposta:Membrane polimeriche porose ad architettura controllata mediante ingegnerizzazione delle instabilità di flussoProduzione di membrane polimeriche porose avanzate mediante schiumatura fisica: controllo delle instabilità di flusso per lo sviluppo di morfologie funzionali tailor-made	52
Curriculum di riferimento:Ingegneria dei Materiali e delle Strutture, Ingegneria Chimica.	52
ENG	53
18)Proponent: Ernesto Di Maio	55
Proposed research topic:Advanced graded polymer foams for thermal insulation	55
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering.....	55
19)Proponente: Prof. Ernesto Di Maio - ITA	57
Tematica di ricerca proposta: Applicazione del processo di schiumatura fisica a sistemi alimentari liquidi: studio <i>in situ</i> dei meccanismi di nucleazione e stabilità delle bolle. Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture, Ingegneria Chimica.	57
ENG	58
20) Proponent: Prof. Luca Esposito - ENG.....	60
Proposed research topic: Durability Assessment, Multiphysics Modeling, and Remaining Life Prediction of Ceramic Matrix Composites for Reusable Aerospace Thermal Protection Systems	60
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering.....	60
ITA.....	61
21) Proponent: Giovanni Filippone - ENG.....	63
Proposed research topic: Multi-objective metrics for the selection and design of sustainable materials	63
Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems	63
ITA.....	64
22) Proponent: Prof. Ing. Mosè Gallo Prof. Ing. Andrea Grassi – ENG	67
Proposed research topic: Supply Chain Coordination under conditions of information asymmetry: from the actors' decisions to their repercussions on individual production units	67
Reference curriculum: Technologies and Production Systems.....	67
ITA.....	69
23) Proponent: Prof. Francesco Greco - ENG	72
Proposed research topic: Slow systems relaxation properties through an Applied Statistical Thermodynamics approach	72
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems	72
ITA.....	73
24) Proponent: Stefano Guido.....	76
Proposed research topic: The Effect of Flow on the Processing and Purification of Biological Components - ENG.....	76
Reference curriculum: Chemical engineering.....	76
ITA.....	77

25) Proponent: Prof. Cosimo Ieracitano - ENG	79
Proposed research topic: explainable Artificial Intelligence and Fluid Electrohydrodynamics for Astronauts' Health Monitoring.....	79
Reference curriculum: Chemical engineering.....	79
ITA	80
26) Proponent: Antonio Langella - ENG	83
Proposed research topic: Technologies for the fabrication of natural and self-healing composite materials for sustainable applications	83
Reference curriculum: Technologies and Production Systems.....	83
ITA	85
27) Proponent: Barbara Liguori - ENG.....	88
Proposed research topic: Advanced ceramic materials for acid mine drainage treatment.....	88
Relevant curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering	88
ITA	89
28) Proponent: Valentina Lo Presto - ENG	91
Proposed research topic: Study and design of floor panels featuring integrated auxetic structures as sandwich cores with enhanced mechanical properties for medium- to long-range aircraft applications.	91
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems	91
ITA	92
29) Proponent: Giuseppina Luciani, Rossana Pasquino, Pietro Renato Avallone, Virginia Venezia - ENG	94
Proposed research topic: Development of Multifunctional Bio-Hydrogels from Fishery and Lignocellulosic Waste: Design, Characterization and Applications for the Circular Bioeconomy	94
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering Production Technologies and Systems	94
ITA	96
30) Proponent: Prof. Pier Luca Maffettone-DICMAPI - ENG	98
Proposed research topic: Development of Technological Platforms for Gene-Based Immune Potentiators as Adjuvants for Nucleic Acid Therapies	98
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering X Technologies and Production Systems	98
ITA	99
31) Proponent: Prof. Pier Luca Maffettone- DICMAPI - ENG	102
Proposed research topic: Development of a High-Throughput Self-Digitizing Microfluidic Platform for mRNA vaccines.....	102
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering X Technologies and Production Systems	102
ITA	104
32) Proponents: Giuseppe Mensitieri, Martina Salzano de Luna - ENG.....	107

Proposed research topic: Thermodynamic modeling of biopolymer-based polyelectrolyte hydrogels for water pollutant removal	107
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering	107
ITA	107
33) Proponente: Prof. Tullio Monetta - ITA	109
Tematica di ricerca proposta: Processi elettrochimici a ridotto impatto ambientale per modifica superficiale dei materiali metallici	109
Curriculum di riferimento: Tecnologie e sistemi di produzione	109
ITA	111
34) Proponente: Prof.ssa Teresa Murino - ITA	115
Tematica di ricerca proposta: Metodi di ottimizzazione combinatoria e modelli Timetabling per la pianificazione e la gestione dei sistemi produttivi.	115
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione.....	115
ENG	116
35) Proponente: Prof.ssa Teresa Murino – ITA	117
Tematica di ricerca proposta: Innovazione dei processi produttivi tra intelligenza artificiale, vincoli normativi, sicurezza ed efficienza.....	117
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione.....	117
ENG	119
36) Proponent: Paolo A. Netti -IIT	121
Proposed research topic: Osteoarthritis-on-chip: development of cartilage-on-chip to study Osteoarthritis disease and its treatment.....	121
Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes	121
37) Proponente: Paolo Netti	123
Tematica di ricerca proposta: Microfluidic Biofabrication of Recombinant Collagen Microparticles for Precision Embolization Therapies	123
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	123
38) Proposer: Ilaria Papa - ENG	125
Proposed Research Topic: Innovative Technologies for the Recovery and Reuse of Carbon Fiber Prepregs via Cryogenic Cutting and Compression Molding for Sustainable Structural Applications	125
Relevant Academic Background: Production Technologies and Systems	125
ITA	126
39) Proponent: Rossana Pasquino - ENG	128
Proposed research topic: Development of Anisotropic Hydrogel Fibers Reinforced with Cellulose Nanocrystals for Advanced Biomedical and Biosensing Applications	128
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering.....	128
ITA	129

40) Proponent: Raffaele Pastore - ENG	131
Proposed research topic: Non-Gaussian diffusion in soft matter and beyond: from microscopic dynamics to macroscopic phenomena.....	131
Reference curriculum: Chemical engineering.....	131
ITA	132
41) Proponent: Valentina Preziosi - ENG.....	134
Proposed research topic: Rheo-optical characterization of liquid-liquid systems using multimodal experimental techniques.....	134
Reference curriculum: Chemical engineering.....	134
ITA	135
42) Proponent: Martina Salzano de Luna - ENG	137
Proposed research topic: Molecular Design and Synthesis of Aerogels with Controlled Functionality	137
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering	137
ITA	137
43) Proponent: Prof. Sannino Filomena e Prof. Domenico Pirozzi - ENG	139
Proposed research topic: Design and development of advanced Carbon Dots-based nanocomposites for applications in food safety and environmental protection.....	139
Reference curriculum: Chemical engineering.....	139
ITA	140
44) Proponent: FABRIZIO SCALA – financed by CNR-STEMS - ENG	143
Proposed research topic: Oxy-Steam Gasification of Municipal Sewage Sludge for Fuel Production	143
Reference curriculum: Chemical engineering.....	143
ITA	145
45) Proponent: FABRIZIO SCALA - ENG.....	148
Proposed research topic: ADVANCED MATERIALS FOR SORPTION-ENHANCED PROCESSES IN FLUIDIZED BED REACTORS.....	148
Reference curriculum: Chemical engineering.....	148
ITA	149
46) Proponent: FABRIZIO SCALA – financed by the European project BHARAT-EU - ENG ...	151
Proposed research topic: INNOVATIVE PROCESSES FOR THE PRODUCTION OF RENEWABLE HYDROGEN THROUGH BIOMASS THERMOCONVERSION	151
Reference curriculum: Chemical engineering.....	151
ITA	152
47) Proponent: Giuseppe Scherillo - ENG.....	154
Proposed research topic: Modelling mass transport and sorption thermodynamics of mixture of low molecular weight compounds in glassy polymers.	154
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes	154
ITA	154

48) Proponent: Prof. Mariano Sirignano - ENG	156
Proposed research topic: Experimental investigation of bio-based polymer combustion for propulsion applications	156
Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes	156
ITA	157
49) Proponent: Prof. Mariano Sirignano - ENG	159
Proposed research topic: Physicochemical analysis of carbonaceous particles formed from renewable and alternative fuels and correlation with fuel molecular structure	159
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes	159
ITA	160
50) Proponent: Prof. Mariano Sirignano - ENG	162
Proposed research topic: Simultaneous production and functionalization of carbon nanomaterials in a lab-scale reactor	162
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes	162
ITA	163
51) Proponent: Sirignano Mariano – Panzetta Valeria - ENG	165
Proposed research topic: Production of sustainable carbon dots for cell diagnostics and targeting	165
Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes	165
ITA	166
52) Proponent: Sirignano Mariano – Salzano de Luna Martina	168
Proposed research topic: Valorization of carbonaceous particles from combustion processes in materials for gaseous and particulate pollutant removal	168
Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes	168
ITA	169
53) Proponent: Giovanna Tomaiuolo - ENG	171
Proposed research topic: Fluid dynamics and material-blood interactions in 3D-bioprinted vascular constructs	171
Reference curriculum: Chemical engineering	171
ITA	172
54) Proposer: Prof. Enza Torino - ENG	174
Proposed Research Topic: Mechanistic Investigation and Development of Sustained Pulmonary Delivery Platforms for Biologics	174
Relevant Curriculum: Industrial Bioengineering, Materials and Structural Engineering, Chemical Engineering, Production Technologies and Systems	174

ITA.....	174
55) Proponente: Virginia Venezia, Giuseppina Luciani, Brigida Silvestri - ITA.....	175
Tematica di ricerca proposta: Materiali e tecnologie sostenibili per il recupero selettivo degli elementi delle terre rare dai RAEE	175
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria Chimica	175
ENG	176
56) Proponent: MAURIZIO VENTRE	179
Proposed research topic: BIOMATERIALS FOR MECHANOBIOLOGY.....	179
Reference curriculum: Materials and Structural Engineering.....	179
ITA.....	180
57) Proponent:Massimiliano M. Villone	183
Proposed research topic: Multiphase systems with rheologically complex interfaces	183
Reference curriculum: Chemical engineering.....	183
ITA.....	184
58) Proponent: Paolo A. Netti -SB IIT - ENG.....	185
Proposed research topic: Brain-on-chip systems for studying neurodegenerative diseases	185
Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes	185
59) Proponent: Paolo A. Netti -SB IIT	187
Proposed research topic: Brain-on-chip platforms for electrophysiological study of connectomics	187
Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes	187
60) Proponente: Prof. Paolo Netti – progetto A-Zione	189
Tematica di ricerca proposta: Engineering Living Alginate-Based Microreactors for Sustainable Water Bioremediation	189
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri	189

CRIBS

1)Proponente: Prof. Paolo Netti – progetto GAME CRIB

Tematica di ricerca proposta: Living growth of advanced bacterial cellulose materials for space manufacturing

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) maxNon è stata trovata alcuna voce d'indice. 500 parole

Future long-duration space missions will require the capability to manufacture functional materials directly in orbit, reducing dependence on re-supply from Earth. Biological manufacturing represents one of the most promising strategies to achieve this objective by exploiting living organisms as autonomous production platforms. Among biofabricated materials, bacterial cellulose (BC) has emerged as an exceptional candidate owing to its high crystallinity, mechanical strength, biocompatibility, hygroscopic behaviour and environmental sustainability. These characteristics make BC suitable for a broad range of space applications, including structural components, radiation shielding, moisture regulation, biomedical devices and in-situ resource utilization. Despite increasing interest in bacterial cellulose for space technologies, current production strategies remain strongly dependent on gravity-driven self-assembly occurring at the air-liquid interface, making their translation to microgravity environments highly challenging. Developing manufacturing paradigms that become independent of gravitational forces therefore represents one of the major scientific challenges toward in-space production of advanced living materials.

This PhD project aims to develop innovative manufacturing strategies for BC production under conditions reproducing the absence of gravity, based on the concept of living growth - i.e., exploiting the autonomous, self-assembling growth of BC precursors as the manufacturing process itself, rather than applying conventional industrial processing to an already-formed material. The research will investigate how process parameters, including agitation, oxygen transfer, pH, temperature and nutrient composition, influence the growth, maturation and structural organization of BC precursors. Once produced, these living precursors will be assembled through confined manufacturing strategies designed to replace conventional gravity-driven assembly, enabling the generation of membranes and three-dimensional cellulose constructs with controlled geometry and architecture.

Advanced morphological, physicochemical and mechanical characterization will be used to establish quantitative relationships between processing conditions, precursor organization and material properties. Optical and electron microscopy, spectroscopy, rheology and mechanical testing will provide multiscale information on the evolution of cellulose networks during growth and assembly. Experimental data will be integrated to develop predictive process-property correlations supporting the rational design of bacterial cellulose manufactures tailored for specific space applications.

The project combines biomaterials engineering, bioprocess engineering, microfabrication and advanced manufacturing within a highly interdisciplinary framework. The developed manufacturing strategies will contribute to establishing a gravity-independent paradigm for biological manufacturing, providing enabling technologies for future orbital and planetary manufacturing platforms.

Beyond space exploration, the proposed research will generate knowledge relevant to sustainable manufacturing on Earth by introducing biologically inspired production processes capable of reducing energy consumption and material waste while expanding the range of achievable material architectures.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research activity will be carried out at the Interdepartmental Research Centre on Biomaterials (CRIB) and the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II, within the framework of the FISA project GAME – Generation of Advanced Materials in Space. The PhD candidate will have access to state-of-the-art laboratories for bacterial cellulose production, biomaterials synthesis, microfabrication, advanced microscopy (SEM, confocal and multiphoton microscopy), rheological and mechanical characterization, spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction and microfluidic fabrication. The project will be conducted in close collaboration with Space Factory Srl, responsible for the development of the orbital manufacturing platform, providing continuous interaction between academic research and space technology development.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

A research period of at least six months will be carried out at an international institution active in biomaterials, biological manufacturing or space technologies, such as ESA-affiliated laboratories or research groups working on microgravity manufacturing. The mobility period will allow the candidate to acquire expertise in microgravity simulation technologies and strengthen international collaboration

2)Proponente: Paolo Netti– CRIB BRIEFS

Tematica di ricerca proposta: Engineering Living Growing Materials for Functional Bioactuation

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

The emergence of Engineered Living Materials (ELMs) is transforming the traditional concept of manufacturing by introducing biological systems capable of autonomously generating, remodeling and adapting functional materials. Unlike conventional biomaterials, whose properties are predetermined during fabrication, living materials continuously evolve through the intrinsic developmental programs of their cellular components. This shift moves manufacturing from the fabrication of static objects toward the engineering of dynamic biological systems able to generate function through growth. Despite remarkable progress in biomaterials and biofabrication, current living systems remain largely engineered by controlling individual cellular responses rather than by programming collective developmental behaviors. A fundamental challenge therefore consists in understanding how morphophysical information encoded within engineered environments can be progressively internalized by living systems to drive autonomous morphogenesis and the emergence of higher-order functions. This PhD project aims to establish new engineering principles for the development of growing living materials capable of generating contractile functionality through self-organized tissue development. Rather than imposing the final architecture through manufacturing, the project will investigate how appropriately designed morphophysical cues can initiate developmental trajectories that cells subsequently execute autonomously.

The research will integrate advanced biomaterials engineering, additive biofabrication, computational design and developmental bioengineering within the Design–Build–Test–Learn (DBTL) paradigm. Biomaterial formulations, three-dimensional architectures and dynamic culture environments will be systematically engineered to regulate cellular organization across multiple spatial scales. High-content imaging, quantitative morphometry and biomechanical characterization will be combined with data-driven optimization strategies to establish predictive relationships between material design, developmental progression and functional maturation.

Contractile living tissues will serve as the experimental platform to investigate how biological materials progressively acquire force-generating capability through autonomous structural organization. Particular attention will be devoted to understanding the transition from externally instructed morphogenesis toward self-sustained developmental programs capable of maintaining tissue function over prolonged culture periods.

The project combines biomaterials science, developmental biology, biofabrication, systems bioengineering and artificial intelligence to establish a new generation of growing materials whose functionality emerges through developmental processes rather than conventional manufacturing. Beyond contractile systems, the developed engineering framework will provide general design principles applicable to a broad range of Engineered Living Materials for regenerative medicine, soft robotics and adaptive biohybrid technologies.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta,

collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research activity will be carried out at the Interdepartmental Research Centre on Biomaterials (CRIB) and the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II, within the BRIEFS research infrastructure dedicated to Engineered Living Materials and BioForge technologies. The candidate will have access to state-of-the-art facilities for biomaterials synthesis, 3D bioprinting, advanced cell culture, microfabrication, live-cell imaging, confocal and multiphoton microscopy, mechanical characterization and computational modelling. The project will benefit from collaborations with national and international partners participating in the BRIEFS ecosystem.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

he candidate will spend at least six months at an internationally recognized institution active in Engineered Living Materials, developmental bioengineering or advanced biofabrication, acquiring complementary expertise in DBTL methodologies.

3)Proponente: Paolo Netti– CRIB BRIEFS

Tematica di ricerca proposta: Engineering Living Growing Materials for Adaptive Barrier Systems

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Living biological barriers represent one of nature's most sophisticated examples of adaptive materials. Their functionality emerges from the dynamic interaction between cells, extracellular matrix and environmental stimuli, allowing continuous remodeling, regeneration and restoration of tissue integrity throughout life. Reproducing these developmental capabilities remains one of the greatest challenges in biomaterials engineering and regenerative medicine.

Current tissue engineering strategies mainly recreate tissue architecture through external manufacturing processes or by delivering biochemical signals that regulate isolated cellular functions. However, these approaches only partially exploit the intrinsic capacity of living systems to self-organize into complex functional architectures. A new engineering paradigm is therefore required in which biological systems are programmed to autonomously construct and regenerate living barrier materials through developmental processes.

This PhD project aims to establish engineering strategies for growing living materials capable of generating adaptive barrier functions through controlled morphogenesis and extracellular matrix organization. The research will investigate how morphophysical information embedded within engineered materials regulates the emergence of multicellular organization, tissue stratification and functional maturation, leading to autonomous regeneration of biological interfaces. The project will integrate biomaterials engineering, advanced biofabrication, computational design and systems bioengineering within a Design–Build–Test–Learn framework. Material composition, structural organization and microenvironmental properties will be systematically modulated to guide the formation of living barrier architectures with programmable regenerative potential. High-content imaging, quantitative structural analysis and functional characterization will be combined with artificial intelligence approaches to identify predictive relationships between material design, developmental trajectories and tissue performance. Regenerative epithelial and dermal systems will constitute the experimental platform for validating the proposed engineering principles. Particular attention will be devoted to understanding how extracellular matrix organization, multicellular communication and tissue remodeling collectively contribute to restoring barrier integrity following injury. The acquired knowledge will support the development of living materials capable of autonomously adapting their structure and function during regeneration.

The project combines developmental bioengineering, biomaterials science, regenerative medicine and computational biology to establish a new class of growing materials whose functional properties emerge through self-organized biological development. Beyond wound healing, the proposed engineering principles will provide a general framework for designing adaptive living interfaces applicable to regenerative medicine, biohybrid systems and future Engineered Living Materials technologies.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research will be carried out at CRIB and DICMAPI, University of Naples Federico II, within the BRIEFS BioForge infrastructure. The candidate will have access to advanced laboratories for biomaterials engineering, 3D bioprinting, tissue engineering, live-cell microscopy, image analysis,

bioreactors and computational modelling. The project will be developed in collaboration with the national BRIEFS partners working on Engineered Living Materials, and advanced manufacturing.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

A research period of at least six months will be carried out at an internationally recognized institution with expertise in regenerative bioengineering, developmental biology or Engineered Living Materials. The mobility period will provide advanced training in developmental biofabrication and AI-supported DBTL workflows.

4)Proponente: Paolo Netti - progetto GAME CRIB

Tematica di ricerca proposta: Biofabrication of bacterial cellulose fibres for sustainable space textile manufacturing

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Future human exploration of space will require the local production of high-performance textile materials for habitats, wearable systems, medical devices and protective structures. Current textile manufacturing relies on fibre spinning technologies developed under terrestrial conditions and inherently dependent on gravity and complex industrial infrastructures. Biological manufacturing offers the possibility of replacing conventional fibre production with living manufacturing processes in which fibres are generated through autonomous biological growth. Bacterial cellulose (BC) possesses an exceptional nanofibrillar architecture, remarkable mechanical performance and intrinsic biocompatibility, making it an attractive candidate for next-generation space textiles. However, current BC production mainly yields two-dimensional pellicles or randomly dispersed particles, while strategies for producing continuous fibres and yarns suitable for textile manufacturing remain largely unexplored.

This PhD project aims to establish a new manufacturing paradigm based on the continuous biofabrication of BC fibres. Rather than spinning pre-existing polymers, the research will investigate how living bacterial cellulose precursors can be guided to grow, assemble and mature into continuous fibres through confined manufacturing strategies inspired by microfluidics and controlled transport phenomena. The project will investigate the influence of precursor maturation, flow conditions, confinement geometry and mechanical guidance on fiber formation, nanofibril alignment and hierarchical organization. Particular attention will be devoted to understanding how processing parameters affect fibres morphology, crystallinity, tensile properties and moisture management. New manufacturing concepts enabling continuous fibres production will be developed and validated through dedicated prototype devices. The resulting fibres will be characterized using advanced microscopy, spectroscopy, mechanical testing and structural analysis to establish quantitative relationships between manufacturing conditions and functional performance. The generated yarns will subsequently be evaluated as building blocks for lightweight textile architectures potentially applicable to wearable systems, biomedical devices and multifunctional fabrics for future space missions.

The project integrates biomaterials science, transport phenomena, textile engineering, microfabrication and advanced manufacturing. Its main scientific ambition is to demonstrate that biological growth can become a genuine manufacturing technology for producing continuous functional fibres, introducing an alternative to conventional spinning processes.

Beyond space applications, the proposed research may contribute to the development of sustainable textile manufacturing technologies based on renewable biological materials and low-energy production processes, supporting the transition toward circular manufacturing paradigms.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research will be carried out at CRIB and DICMAPI, University of Naples Federico II, within the multidisciplinary environment established by the GAME project. The candidate will have access

to laboratories for bacterial cellulose production, microfluidics, precision manufacturing, advanced microscopy, fibres characterization, rheological and mechanical testing, spectroscopy and material processing. Collaboration with Space Factory Srl will provide direct interaction with engineers involved in the design of orbital manufacturing platforms, ensuring alignment between biological manufacturing research and future space implementation.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

The PhD candidate will spend at least six months at an internationally recognized research institution working on biomaterials, biofabrication or advanced textile manufacturing. The mobility period will strengthen expertise in biological manufacturing technologies and promote international collaborations supporting the translation of the developed processes toward space applications.

5)Proponente: Paolo Netti/Isabella Maremonti – CRIB SYMPHONY

Tematica di ricerca proposta: Engineering Programmable Hydrogel Microspheres for Precision Endovascular Embolization

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Endovascular embolization has become one of the most effective minimally invasive strategies for treating hypervascular tumors, arteriovenous malformations and severe hemorrhages. The success of these procedures relies on embolic microspheres capable of selectively occluding target vessels while exhibiting predictable transport, controlled degradation and excellent biocompatibility. Although several commercial embolic agents are currently available, most rely on synthetic polymeric materials with limited tunability of their mechanical properties, degradation profile and biological interactions. As a consequence, embolization outcomes often remain highly dependent on operator experience and difficult to personalize according to patient-specific vascular conditions.

Recent advances in biomaterials engineering suggest that hydrogel-based microspheres can overcome many of these limitations by providing highly hydrated, compliant and bioinspired embolic systems whose physical properties can be rationally designed. However, a major scientific challenge remains the establishment of manufacturing strategies capable of simultaneously controlling particle size, internal microstructure, crosslinking density and mechanical behavior while ensuring scalability and industrial reproducibility.

This PhD project aims to develop a new generation of programmable hydrogel microspheres through advanced microfluidic biofabrication technologies. The research will investigate how microfluidic processing parameters, polymer composition and crosslinking chemistry regulate the formation of highly monodisperse embolic particles with tailored structural and mechanical properties. Particular attention will be devoted to understanding the relationships between droplet generation dynamics, gelation kinetics and the hierarchical organization of the polymeric network.

Different natural and synthetic hydrogel formulations will be engineered to modulate elasticity, degradation rate, swelling behavior and radiopacity according to the functional requirements of selective embolization. Microfluidic manufacturing strategies will be optimized to achieve precise dimensional control while ensuring high process stability and scalability. Morphological, physicochemical and mechanical characterization will be performed through advanced optical and electron microscopy, rheology, compression testing and spectroscopic analyses, establishing quantitative process–structure–property relationships. The project will integrate biomaterials engineering, transport phenomena, polymer chemistry and advanced manufacturing within a multidisciplinary framework. Experimental results will support the definition of rational design criteria for embolic microspheres characterized by programmable performance and industrial reproducibility. Particular emphasis will be placed on the translation of laboratory-scale fabrication toward scalable manufacturing processes compatible with future GMP production and regulatory requirements.

Beyond embolotherapy, the developed manufacturing platform will provide a versatile strategy for producing microstructured hydrogel systems for drug delivery, regenerative medicine and minimally invasive therapeutic applications. By combining advanced microfabrication with programmable biomaterials, the project aims to establish a new generation of embolic devices characterized by improved safety, customization and clinical performance.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research will be carried out at the Interdepartmental Research Centre on Biomaterials (CRIB) and the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II, within the multidisciplinary framework of the SYMPONY project. The candidate will have access to laboratories for biomaterials synthesis, microfluidic fabrication, soft lithography, rheological and mechanical characterization, confocal and scanning electron microscopy, spectroscopy and advanced materials characterization. The project will be developed in collaboration with Tecnobios Srl for process scale-up and industrial translation, Centro Delta for biological validation, and the University of Sannio for microfluidic modelling and predictive analysis

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

A research period of at least six months will be carried out at an internationally recognized institution active in biomaterials, microfluidics or interventional medicine. The candidate will acquire advanced expertise in hydrogel manufacturing, translational biomaterials and embolization technologies while strengthening international scientific collaborations.

6)Proponente: Paolo Netti / Isabella Maremonti– CRIB SYMPHONY

Tematica di ricerca proposta: Predictive Engineering of Programmable Hydrogel Microspheres for Personalized Endovascular Embolization

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Endovascular embolization is increasingly moving toward precision medicine, where embolic agents should be tailored not only to the target pathology but also to the specific vascular architecture and hemodynamic conditions of each patient. Despite significant advances in embolic biomaterials, current device development still relies largely on empirical optimization, while the relationship between microsphere properties, vascular transport, occlusion dynamics and biological response remains poorly understood. Consequently, predicting embolization outcomes before clinical application remains one of the major unmet challenges in interventional medicine. Recent progress in biomaterials engineering, computational modeling and artificial intelligence offers the opportunity to establish predictive frameworks capable of linking material design to functional performance. Such an approach could transform embolic microsphere development from a trial-and-error process into a rational engineering strategy based on quantitative structure–function relationships.

This PhD project aims to develop an integrated experimental and computational framework for predicting the behavior of programmable hydrogel microspheres during endovascular embolization. The research will investigate how particle size, morphology, stiffness, degradation profile and surface properties influence transport under physiological flow conditions, vascular lodging mechanisms and biological interactions. Advanced biomimetic microfluidic platforms reproducing physiologically relevant vascular geometries will be developed to study microsphere dynamics under controlled hemodynamic conditions. Experimental observations will be combined with computational fluid dynamics (CFD) simulations and particle transport models to quantitatively describe microsphere migration, distribution and vessel occlusion as a function of both material properties and vascular architecture. Machine learning algorithms will subsequently integrate the experimental and computational datasets to identify predictive correlations between manufacturing parameters, material characteristics and embolization performance. The resulting digital framework will support the rational optimization of embolic microspheres by predicting their functional behavior before fabrication, significantly accelerating material development and reducing empirical experimental iterations. The project will also investigate the biological response of embolic systems using advanced in vitro and ex vivo vascular models, correlating mechanical and transport behavior with endothelial interaction, tissue compatibility and functional occlusion. The integration of biological validation with predictive computational models will enable the development of next-generation embolic devices characterized by programmable and patient-oriented performance.

By combining biomaterials science, microfluidics, computational modeling and artificial intelligence, the project will establish a new paradigm for the predictive engineering of endovascular biomaterials. Beyond embolotherapy, the proposed framework will be applicable to a broad range of injectable biomaterials and minimally invasive medical devices, contributing to the transition toward digital biomaterials engineering and model-informed medical device development.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research activity will be carried out at the Interdepartmental Research Centre on Biomaterials (CRIB) and the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II, within the SYMPONY project. The candidate will have access to laboratories for biomaterials characterization, advanced microscopy, rheology, microfluidic fabrication and computational modeling. The project will be performed in close collaboration with the University of Sannio for CFD simulation, optical sensing and artificial intelligence, with Centro Delta for advanced biological validation using in vitro and ex vivo vascular models, and with Tecnobios for the translation of predictive design into scalable manufacturing and industrial development.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

A research period of at least six months will be carried out at an internationally recognized institution with expertise in computational bioengineering, microfluidics or interventional radiology. The candidate will receive advanced training in predictive modeling, digital twins for biomedical systems and translational evaluation of embolization technologies while establishing international collaborations in the field of precision biomaterials.

MINISTERIALE

7)Proponente: Paolo Netti/Francesco Urciulo - MINISTERIALE

Tematica di ricerca proposta: Tissue fibrosis on Chip

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Impaired tissue repair processes in humans are associated with either the formation of fibrotic tissue or non-healing processes. Fibrosis are often associated with an inflammatory state that generally influences the nature, the composition the amount and the superstructure of the de-novo synthesized extracellular matrix (ECM). Inflammatory state associated with both pathologic status (e.g. hepatic cirrhosis, chronic obstructive pulmonary diseases, intestinal bowel diseases, tumors) and deep skin wounds generally induces a the formation of fibrotic tissue characterized by a denser packing of fibrillar component of the ECM with an enhanced stiffness and reduced hydration degree. This anomalous assembly induces formation of fibrotic ECM in the connective compartment, which strongly compromises functionality of the affected. Fibrotic tissue in lung can compromise its elasticity and impair the functions of cells involved in gas exchange. Fibrosis in liver compromises metabolism, immunity regulation, digestion, detoxification and vitamin storage. Sever scarring of the human skin induces impaired thermoregulation, sensitization, limbs mobility and critical aesthetical issues. metabolism, immunity, digestion, detoxification, and vitamin storage. In diabetic patients, on the contrary, the inflammation status induce the formation of chronic wound as cells loss the capability to synthesize and assemble the components of the ECM. It is widely accepted that dysfunctional tissue repair process are a consequence of an aberrant/compromised immune and response which governs both he fibrotic response and non-healing phenomena. This still represent a clinical and social issue and makes the mechanistic and molecular understanding of repairing mechanisms a very actual need. Recently, three-dimensional (3D) models have revolutionized our ability to study these processes in a controlled context, allowing the cultivation of fibroblasts and other cells in a 3D matrix that better simulates the native environment. However, most currently available 3D models lack both extracellular matrix, vascularity, and immune response limiting their ability to faithfully replicate dynamic of wound healing. This deficiency is particularly significant in the context of pathological conditions, which drastically compromise the immune reaction. Starting from the expertise of the proponent group in the field of tissue engineering, biomaterials and tissue-on-chip systems, this project proposal aims at realizing an immunocompetent 3D model of skin-on-chip able to recreate the interactions between tissue repairing mechanisms and immune system under both normal and pathological conditions. In particular the main tasks can be summarized as follows: i) fabricating a wounded immune competent tissue on chip model using advanced bio fabrication techniques (e.g. modular tissue engineering / 3D bioprinting approaches; ii) modelling the pathological conditions on chip by integrating immune cells from normal and non-healthy patients; iii) use of advanced characterization such as omics-based techniques. This will pave the way for to better elucidate key pathways involved in impaired healing under different conditions and will speed up the development of new treatments in a personalized manner.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research activity will take place at Interdepartmental Research Center on Biomaterials (CRIB) and Department of Chemical, Materials and Production Engineering (DICMAPI) at University of

Naples Federico II. The project will be carried out in collaboration with other research centers such as Istituto Italiano di Tecnologia, and Scuola di Medicina e Chirurgia – Federico II.

Available instrumentation and facilities comprise: advanced bioreactors for 3D tissue culture, 3D cell culture lab, 3D printing and 3D bioprinting systems, microfabrication machines, histological, mechanical and rheological characterization of biomaterials and biological tissues, confocal and multiphoton microscopy, fluid dynamic and mechanical computation.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

A period abroad of at least 6 months will be programmed.

8)Proponente: Francesco Urciuolo and Paolo Netti - MINISTERIALE

Tematica di ricerca proposta: Developmentally Programmed Growing Muscle for Living Bioactuators

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Living biological tissues possess a unique capability that conventional engineering materials cannot reproduce: they autonomously grow, remodel, adapt and progressively acquire functional properties through developmental processes. This concept is opening a new frontier in bioengineering, where materials are no longer manufactured as static structures but are programmed to develop into functional living systems. Within this emerging paradigm of Growing Materials, skeletal muscle represents an ideal model system because its contractile function naturally emerges through highly coordinated morphogenetic events involving cellular alignment, fusion, extracellular matrix remodeling and maturation.

Current skeletal muscle engineering has largely focused on recreating tissue architecture through increasingly sophisticated biofabrication techniques. However, these approaches often rely on externally imposed organization and prolonged biochemical stimulation, while only partially exploiting the intrinsic developmental programs that regulate tissue morphogenesis. A fundamental challenge therefore consists in understanding how morphophysical information encoded within engineered materials can be progressively internalized by cells to autonomously generate functional contractile tissues.

This PhD project aims to develop developmentally programmed growing muscle as a new class of living bioactuators. Rather than engineering the final tissue architecture, the project will investigate how biomaterials, three-dimensional organization and dynamic culture environments can establish the initial morphophysical conditions that guide autonomous muscle development and functional maturation.

The research will integrate biomaterials engineering, additive biofabrication, developmental bioengineering and quantitative image analysis within a Design–Build–Test–Learn framework. Cell-instructive materials will be engineered to regulate cellular alignment, fusion and extracellular matrix organization, while advanced biofabrication strategies will enable precise control over tissue geometry and hierarchical organization. Functional maturation will be quantitatively assessed through force generation, calcium dynamics, electrophysiological activity and structural remodeling.

A major objective of the project will be the identification of predictive relationships between morphophysical design parameters and the emergence of contractile function. Data-driven approaches and computational modelling will support the optimization of developmental trajectories and provide engineering principles for the design of autonomous living actuators.

Beyond providing advanced in vitro models of skeletal muscle physiology and disease, the project will establish a new paradigm for the engineering of living materials whose functionality emerges through biological development rather than conventional manufacturing. The resulting knowledge will contribute to the development of next-generation biohybrid robotic systems, adaptive prosthetic technologies and regenerative medicine platforms based on developmentally programmed living tissues.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

A research period of at least six months will be carried out at an internationally recognized institution active in developmental bioengineering, skeletal muscle engineering or biohybrid robotics. The candidate will acquire complementary expertise in advanced biofabrication, quantitative functional characterization and computational modelling of living systems.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

A period abroad of at least 6 months will be programmed.

9) Proponente: Prof. Antonio Abate, Prof. Paolo Netti, Prof. Filippo Causa

Tematica di ricerca proposta: Sonde luminescenti a base di perovskite per sistemi avanzati di rilevamento dei microRNA

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole:

Il progetto si colloca all'intersezione tra la scienza dei materiali, la chimica dei fluorofori e le biotecnologie avanzate, ponendosi l'obiettivo di superare i limiti di sensibilità e stabilità dei biosensori tradizionali per miRNA attraverso sonde a base di perovskite. La ricerca si focalizzerà specificamente sullo sviluppo di nanocristalli e quantum dot di perovskiti interamente prive di piombo (Lead-free) basate sullo stagno (Sn), sfruttandone l'assenza di fenomeni di migrazione ionica per garantirne la stabilità a lungo termine per la rilevazione ad alta sensibilità, senza amplificazione e specifica di miRNA in fluidi biologici.

Il programma delle attività per il dottorando si articolerà nelle seguenti fasi:

1. **Material Modeling e Sintesi Sostenibile:** Verranno impiegate simulazioni *ab initio* basate sulla teoria del funzionale della densità (DFT) per prevedere la stabilità chimica e passivare i difetti sfavorevoli intrinseci dello stagno (es. ossidazione da Sn(II) a Sn(IV)). Seguirà la sintesi delle sonde in ambienti controllati (glovebox in atmosfera inerte) utilizzando solventi e antisolventi ecocompatibili (*green solvents*) per la formulazione di inchiostri stabili.
2. **Ingegnerizzazione delle Interfacce e Tuning Ottico:** Ottimizzazione delle proprietà di fotoluminescenza in tempo reale e sintonizzazione spettrale delle emissioni. Si utilizzeranno tecniche avanzate di ingegnerizzazione degli additivi (sia organici che inorganici) e interstrati (*interlayers*) per controllare la cristallizzazione e favorire l'allineamento dei livelli energetici all'interfaccia con i target molecolari.
3. **Bio-funzionalizzazione:** Decorazione di nanocristalli e quantum dot di perovskiti con molecole probe ingegnerizzate per la cattura specifica di miRNA target e relativa caratterizzazione. La piattaforma di biosensing verrà validata utilizzando microRNA circolanti di elevato interesse diagnostico, rappresentativi di differenti ambiti patologici, quali ad esempio miR-21, miR-122, miR-126, miR-155, miR-210 e miR-221, lasciando comunque la possibilità di estendere l'approccio ad altri biomarcatori in funzione della specifica applicazione clinica. Si considereranno meccanismi di trasduzione basati su elettrochemiluminescenza oppure, nel caso di sonde lineari complementari al miRNA target o di molecular beacon dotati di quencher, meccanismi di trasduzione di natura ottica.
4. **Trasduzione Scalabile:** Integrazione uniforme dei nanocristalli luminescenti all'interno di tale piattaforma di biosensing esistente per massimizzare l'efficienza della trasduzione. In questa fase si applicheranno protocolli di deposizione da soluzione su larga scala (sistemi *blade* e *slot-die coating*) per la gestione controllata dei film. Si valuterà la performance bio-analitica in termini di sensibilità e selettività sia in soluzioni ricostituite che in campioni reali dei prodotti sviluppati.

L'obiettivo finale è raggiungere una sensibilità ultra-elevata per la diagnosi precoce di biomarcatori genetici, capitalizzando le metodologie chimico-fisiche e i protocolli sui materiali ecocompatibili.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando opererà presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II, usufruendo delle infrastrutture fornite e utilizzate nell'ambito del progetto FIS3 SOLAR-PRO all'interno del Dipartimento DICMaPI. Avrà accesso alle linee di sintesi e deposizione controllata del gruppo del

Prof. Abate, tra cui il cluster di glovebox in atmosfera purificata di azoto e il sistema di deposizione automatizzato *slot-die coating*. Per la caratterizzazione chimico-fisica avanzata dei materiali e lo studio delle interfacce si avvarrà delle strumentazioni dei laboratori ACLabs (Prof. Aprea), quali la diffrazione a raggi X (XRD), la spettroscopia UV-Vis e le tecniche di superficie UPS/XPS. L'ingegnerizzazione e la bio-coniugazione delle sonde probe, la caratterizzazione chimico fisica dei sistemi decorati, i test biologici, e di biosensing verranno eseguiti presso le facility del team del Prof. Netti e Prof. Causa.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo all'estero (dai 6 ai 12 mesi) focalizzato sul potenziamento dei protocolli di sintesi e sulla stabilità chimica delle perovskiti *lead-free* a base stagno. Il dottorando potrà essere inserito all'interno del network internazionale di collaborazioni sui materiali semiconduttori da soluzione del Prof. Abate, o presso laboratori partner stranieri specializzati nella caratterizzazione optoelettronica avanzata o nella stabilità di quantum dot ecocompatibili per applicazioni biomediche.

10) Proponent: Prof. Antonio Abate / Daniele Tammaro / Concetta Di Natale - DICMaPI

Proposed research topic: Design, CFD modelling, manufacturing and validation of a microfluidic platform for confined and controlled growth of perovskite single crystals for solar, optoelectronic and neuromorphic transistor devices

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering X Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

Metal-halide perovskites are emerging semiconductors for photovoltaics, light-emitting devices, photodetectors and future transistor architectures because of their strong light absorption/emission, tunable composition and solution processability. However, their technological use is often limited by the polycrystalline nature of films produced by conventional deposition routes. Grain boundaries and interfacial defects introduce charge traps, ion-migration pathways and instability, reducing efficiency, reproducibility and lifetime. Single-crystal perovskites offer a route to lower defect density and more reliable charge/light transport, but current confined-growth methods are generally static and diffusion-limited, so crystals remain small, poorly controlled or difficult to integrate in functional devices.

This PhD project will develop a focused three-year engineering activity aimed at designing, modelling, manufacturing and validating a microfluidic platform for the confined and controlled growth of perovskite single crystals in device-relevant cavities. The project will be scaled to the work of one PhD student and will concentrate on the process-engineering core: replacing static diffusion-limited growth with controlled flow, thermal management and mass transport in a transparent microfluidic device.

During the first year, the PhD student will define the process requirements and design microfluidic cavities in CAD. The device will consist of two transparent conductive or device-compatible substrates separated by a micrometre-scale spacer, with inlet/outlet geometries, flow distributors, sealing elements and thermal-control interfaces. CFD simulations will be used to predict pressure drop, velocity uniformity, residence-time distribution, diffusion fields, concentration depletion near the growth front and heat transfer under local temperature control. Different geometries, including simple square cavities and pillar-based distributors, will be compared.

During the second year, selected geometries will be manufactured by rapid prototyping, micromilling, laser cutting, soft lithography, DLP/3D printing and/or two-photon polymerisation, depending on the required resolution. The prototypes will be validated with model fluids, optical flow visualisation, tracer tests and temperature mapping, then tested with reference perovskite precursor solutions.

During the third year, the most robust platform will be used to study controlled nucleation and crystal growth under selected flow-rate, concentration and temperature conditions. Preliminary integration of in-situ optical monitoring and, where feasible, photoluminescence/electrical readout will be explored in collaboration with perovskite-device experts. The main objectives are to obtain a reproducible microfluidic cavity, identify design rules for suppressing depletion zones, demonstrate controlled crystal growth over areas larger than conventional static tests, and deliver a validated prototype and modelling framework. The long-term ambition is to make this confined and controlled crystal-growth technology applicable not only to solar cells, but also to next-generation optoelectronic devices and future transistors with neuromorphic functionalities.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD activity will be carried out at the University of Naples Federico II, Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMaPI), exploiting the department's expertise in transport phenomena, process design, microfluidics, polymer/materials processing, prototyping, CAD and numerical modelling. The project will mainly use facilities and tools for:

CAD design and engineering modelling of the microfluidic platform, including 2D/3D design of cavities, spacers, inlet/outlet manifolds, pillar-based flow distributors, seals, holders, tubing connections, transparent windows and interfaces for thermal control.

CFD modelling using COMSOL Multiphysics and/or equivalent software to simulate laminar flow, pressure drop, shear distribution, residence-time distribution, heat transfer, species transport, diffusion-limited depletion, concentration gradients and mass transfer near the growing crystal front. The simulations will guide the choice of channel height, distributor geometry, flow rate and temperature strategy before fabrication.

Microfabrication and prototyping facilities, including 3D printing, DLP printing, micromilling, laser cutting, mould fabrication, soft lithography, PDMS/thermoplastic replication, spacer fabrication, bonding and assembly of glass-based microfluidic devices. The possibility of fabricating disposable spacers/cartridges and reusable mechanical holders will also be considered.

Experimental microfluidics and flow characterisation, using syringe pumps or pressure controllers, PEEK/PTFE tubing, optical microscopy, image analysis, tracer-particle visualisation, pressure/flow-rate measurements, temperature sensors, mini-Peltier modules and thermal mapping. These tools will support the validation of CFD predictions and the calibration of the working window of the device.

Materials and device characterisation will be carried out in collaboration with perovskite, photovoltaic and optoelectronic research groups at the University of Naples Federico II, in particular with the group of Prof. Antonio Abate. This collaboration will provide expertise in perovskite precursor inks, single-crystal growth, interface engineering, photoluminescence, electrical characterisation and device testing. Additional collaborations may involve groups working on microfabrication, optical diagnostics, microfluidic control and materials characterisation, as well as companies or laboratories interested in scalable microfluidic manufacturing and integration of crystalline perovskites in solar, optoelectronic and neuromorphic-device platforms.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A research period abroad of 3-6 months is planned between the second and third year of the PhD, after the first CAD/CFD design, fabrication trials and preliminary validation of the microfluidic prototype have been completed. The aim will be to strengthen the materials-selection, microfabrication, flow-control and in-situ monitoring aspects of the project, while keeping the activity compatible with the scale of a three-year, single-student PhD project.

The first proposed host is Dr Anna Palme at Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. The secondment would exploit the Swedish host expertise in materials processing, polymer/cellulose-based materials, purification and sustainability-oriented engineering to support the selection and validation of polymeric spacers, substrates, sealing strategies and solvent-compatible materials for the microfluidic crystallisation platform. This period would focus on material compatibility, ageing and cleaning protocols, low-contamination fabrication routes, and the development of robust, scalable microfluidic components suitable for repeated crystallisation tests.

A second possible host is Dr Francesco Del Giudice, Associate Professor in Chemical Engineering at Swansea University, UK, and head of the Rheological Microfluidic Lab within the Complex Fluids Research Group. This secondment would be particularly relevant for advanced microfluidic design, rheological microfluidics, flow homogenisation in shallow cavities, particle/bubble management, residence-time control and experimental validation of CFD predictions. The activity in Swansea would help optimise anti-bubble and anti-clogging geometries, improve flow-control strategies, and develop quantitative protocols for transport, mixing and confined crystallisation in the final prototype.

11) Proponent: Prof. Veronica Ambrogi - ENG

Proposed research topic: Development of recyclable epoxy vitrimer composites containing active fillers

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

Thermosetting polymers, particularly epoxy resins, play a dominant role in the composites industry owing to their outstanding mechanical properties, including a high stiffness-to-weight ratio, excellent fatigue resistance, and good dimensional stability. However, their permanently crosslinked molecular architecture, formed during the curing process, makes them inherently non-recyclable. Conventional recycling technologies, such as pyrolysis and solvolysis, rely on the degradation of the polymer matrix to recover the reinforcing fibers, often resulting in a loss of mechanical integrity and a significant environmental impact.

In this context, vitrimers have emerged as an innovative class of materials capable of combining the excellent mechanical performance of conventional thermosets with the ability to be reprocessed. Vitrimers are based on dynamic covalent networks that undergo associative bond-exchange reactions under controlled temperature conditions, enabling self-healing and reprocessability while preserving the crosslinked network. This project aims to explore the potential of vitrimer chemistry as a practical strategy for the development of recyclable thermoset composites.

The research activities will be organized into the following tasks:

1. State-of-the-art analysis. Comprehensive review of the literature on recyclable thermosetting polymers, vitrimer chemistry, and dynamic covalent bond-exchange mechanisms, with particular emphasis on epoxy systems and composite materials.
2. Material preparation and formulation optimization. Production of epoxy resin powders by mechanical milling and preparation of formulations containing dynamic catalysts and functional fillers. A systematic investigation will be carried out to evaluate the effects of powder particle size, resin chemistry, catalyst type and concentration, and filler nature and loading on the properties of the reprocessed materials.
3. Material characterization. Preparation of vitrimerized materials using solvent-free processing techniques, followed by chemical, thermal, morphological, and mechanical characterization by means of FTIR, DSC, TGA, DMA, SEM, and mechanical testing. Particular attention will be devoted to establishing correlations between formulation parameters, the extent of interparticle welding, and the resulting material performance.
4. Evaluation of recyclability. Assessment of the stability of material properties over multiple reprocessing cycles, evaluation of the efficiency of dynamic bond-exchange reactions, and identification of the optimal processing conditions for the development of high-performance recyclable thermosetting materials.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The research activities will be carried out in the laboratories of the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMaPI), which are well equipped to support the planned research activities, including both the preparation and synthesis of new materials and their comprehensive characterization.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The student will be required to carry out part of their experimental work at a foreign laboratory. Starting from the second year of the PhD program and for a period of at least six months, the student will focus on aspects related to the mechanical characterization of the manufactured materials using techniques that are not available in the DICMaPI laboratories.

ITA

Proponente: Prof. Veronica Ambrogì

Tematica di ricerca proposta: Sviluppo di materiali compositi vitrimerici riciclabili/riprocessabili a base di resine epossidiche e filler attivi

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

I polimeri termoindurenti, in particolare le resine epossidiche, svolgono un ruolo dominante nell'industria dei materiali compositi grazie alle loro eccellenti proprietà meccaniche, tra cui un elevato rapporto rigidità/peso, un'eccellente resistenza alla fatica e una buona stabilità dimensionale. Tuttavia, la loro architettura molecolare reticolata covalentemente, che si forma durante la fase di polimerizzazione, li rende non riciclabili. Le tecniche di riciclo tradizionali, come la pirolisi o la solvolisi, mirano alla degradazione della matrice polimerica per il recupero delle fibre, spesso con una conseguente perdita di integrità meccanica e un impatto ambientale significativo.

In questo contesto i vitrimeri sono emersi come una classe innovativa di materiali in grado di mantenere la robustezza meccanica dei termoindurenti, ma con la possibilità di essere riprocessati. I vitrimeri possiedono network a base di legami covalenti dinamici che permettono reazioni di scambio di legami in condizioni di temperatura controllate, consentendo l'autoriparazione e riprocessabilità dei materiali. Questo progetto mira a esplorare il potenziale dei vitrimeri come soluzione praticabile per lo sviluppo di compositi termoindurenti riciclabili.

La ricerca sarà articolata nelle seguenti attività:

1. Analisi dello stato dell'arte. Studio della letteratura sui polimeri termoindurenti riciclabili, sulla chimica dei vitrimeri e sui meccanismi di scambio covalente dinamico, con particolare riferimento ai sistemi epossidici e ai materiali compositi.
2. Preparazione dei materiali e ottimizzazione delle formulazioni. Produzione di polveri di resine epossidiche mediante macinazione meccanica e preparazione delle formulazioni contenenti catalizzatori dinamici e filler funzionali. Verrà effettuato uno studio sistematico dell'effetto della granulometria, della natura della resina, del tipo e del contenuto di catalizzatore, nonché della natura e della quantità dei filler sulle caratteristiche del materiale riprocessato.
3. Caratterizzazione dei materiali. Produzione dei materiali vitrimerizzati mediante tecniche solvent-free e caratterizzazione chimica, termica, morfologica e meccanica mediante FTIR, DSC, TGA, DMA, SEM e prove meccaniche, al fine di correlare i parametri di formulazione con il grado di saldatura interparticellare e con le proprietà finali.
4. Valutazione della riciclabilità. Studio della stabilità delle proprietà durante successivi cicli di riprocessamento, valutazione dell'efficienza delle reazioni di scambio dinamico e identificazione delle condizioni ottimali per ottenere materiali termoindurenti riciclabili ad elevate prestazioni.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Le attività di ricerca saranno condotte all'interno dei laboratori del DICMaPI, che sono ben attrezzati per lo svolgimento delle attività previste, sia per la preparazione/sintesi di nuovi materiali sia per la loro caratterizzazione.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il dottorando sarà tenuto a svolgere parte dell'attività sperimentale presso un laboratorio di ricerca estero. A partire dal secondo anno del corso di dottorato e per un periodo di almeno sei mesi, il

dottorando approfondirà gli aspetti relativi alla caratterizzazione meccanica dei materiali sviluppati, avvalendosi di tecniche sperimentali non disponibili presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMaPI).

12)Proponent: Prof. Paolo Aprea - ENG

Proposed research topic: Design and 3D Printing of Functional Ceramic Materials for Catalytic and Environmental Applications

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

The production of functional ceramic materials by 3D printing, particularly through Direct Ink Writing, represents a promising strategy for obtaining monolithic objects with complex geometries, high surface area, and controlled transport properties. The possibility of simultaneously designing material composition, porosity, and macroscopic shape enables the development of more efficient devices for high-value processes, including contaminant removal from water and air, separation of chemical species, and catalysis of industrially relevant reactions.

However, the formulation of “inks”, namely ceramic pastes processable by Direct Ink Writing, still presents several scientific and technological challenges. For this reason, the market availability of 3D-printed functional ceramic objects remains relatively limited and mainly concerns customized industrial components. A relevant example is represented by structured catalysts developed by BASF through additive manufacturing: printing allows control over channel geometry, available surface area, and pressure drop, tailoring the component to the specific conditions of the chemical process. This is a particularly significant application, as it demonstrates the transition from simple prototyping to the production of objects in which three-dimensional architecture directly determines catalytic performance.

The formulation of ceramic inks with high loading of functional particles is one of the main critical issues in 3D printing. A high particle loading is required to ensure dimensional stability and active material content, but it must be compatible with suitable rheological properties: the ink must flow during extrusion, rapidly recover consistency, and retain the deposited shape. This balance depends on particle features, solvent, binder, and additives. Moreover, shared standards and quantitative protocols are still lacking in assessing printability and relate it to composition and final performance. Consequently, development is often based on trial-and-error approaches, with high costs in terms of time and materials and limited overall transferability.

Recently, the Proponent’s research group developed a methodological framework to address these issues systematically. The framework enables more efficient ink design and printability assessment through reproducible metrological procedures. It also allows the requirements of the printing process to be integrated with the properties needed for the final application, enabling a *performance-oriented* design approach.

On this basis, the doctoral project will apply this methodological framework to the production of inks formulated from different active-material particles combined with binders of varying nature and concentration. The relationships among composition, rheological properties, printing behavior, and post-deposition stability will be investigated. Three-dimensional printed monolithic objects will then be produced and optimized, assessing the preservation of particle functionality, structural integrity, transport properties, and accessibility of active sites. Finally, the materials will be characterized under application-relevant conditions, with particular reference to environmental remediation processes and the catalysis of industrially relevant chemical reactions.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The research activity will involve the use of instruments dedicated to the physicochemical characterization of materials, including X-ray diffraction (XRD), FTIR spectroscopy, mercury intrusion porosimetry, microporosity analysis by gas adsorption, pycnometry, and laser granulometry. The rheological characterization of the pastes will be carried out by rotational rheometry.

The 3D printing experiments will be performed using two different systems: a custom printer, obtained by modifying a conventional device for polymer printing, and a commercial printer specifically designed for ceramic materials.

On the topics addressed by the doctoral research proposal, the research group maintains collaborations with the University of Aveiro, Portugal, and Leipzig University, Germany.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

Depending on the applications of greatest interest identified during the first two years of the doctoral programme, a research period abroad is planned at the beginning of the third year, to be carried out at one of the following institutions:

- University of Aveiro, Portugal
- Leipzig University, Germany

ITA

Proponente: Prof. Paolo Aprea

Tematica di ricerca proposta: Design e stampa 3D di materiali ceramici funzionali per applicazioni catalitiche e ambientali

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria Chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) La produzione di materiali ceramici funzionali mediante stampa 3D (in particolare prodotti mediante la tecnica del Direct Ink Writing) rappresenta una strategia promettente per ottenere oggetti monolitici con geometrie complesse, elevata area superficiale e proprietà di trasporto controllate. La possibilità di progettare simultaneamente la composizione del materiale, la porosità e la forma macroscopica consente infatti di sviluppare dispositivi più efficienti per processi ad alto valore aggiunto, tra cui la rimozione di contaminanti da acqua e aria, la separazione di specie chimiche e la catalisi di reazioni di interesse industriale.

Tuttavia, formulazione di “inchiostri” (impasti ceramici processabili per Direct Ink Writing) presenta ancora numerose difficoltà scientifiche e tecnologiche. Per questo motivo, la presenza sul mercato di oggetti ceramici funzionali prodotti mediante stampa 3D è ancora relativamente limitata e riguarda soprattutto componenti industriali realizzati su commessa. Un esempio rilevante è rappresentato dai catalizzatori strutturati sviluppati da BASF mediante additive manufacturing: la stampa consente di controllare la geometria dei canali, la superficie disponibile e le perdite di carico, adattando il componente alle specifiche condizioni del processo chimico. Si tratta di un'applicazione particolarmente significativa, perché mostra il passaggio dalla semplice prototipazione alla produzione di oggetti nei quali l'architettura tridimensionale determina direttamente la prestazione catalitica.

La formulazione di inchiostri ceramici ad alto caricamento di particelle funzionali è una delle principali criticità della stampa 3D. Un'elevata frazione di particelle è necessaria per garantire stabilità dimensionale ed elevata attività complessiva, ma deve essere compatibile con adeguate proprietà reologiche: l'inchiostro deve fluire durante l'estrusione, recuperare rapidamente consistenza e mantenere la forma depositata. Questo equilibrio dipende da caratteristiche delle particelle, solvente, binder e additivi. Mancano inoltre standard condivisi e protocolli quantitativi per valutare la stampabilità e collegarla alla composizione e alle prestazioni finali. Di conseguenza, lo sviluppo avviene spesso per tentativi, con elevati costi di tempo e materiali e scarsa trasferibilità complessiva.

Recentemente, il gruppo di ricerca del Proponente ha sviluppato un framework metodologico che consente di affrontare queste criticità in modo sistematico. Il framework permette di progettare gli inchiostri in maniera più efficiente e di caratterizzarne la stampabilità mediante procedure metrologiche riproducibili. Esso consente inoltre di integrare i requisiti del processo di stampa con le proprietà richieste nell'applicazione finale, rendendo possibile un approccio di *performance-oriented design*.

Su queste basi, il progetto di dottorato prevede l'applicazione di questo framework metodologico

alla produzione di inchiostri formulati a partire da differenti particelle di materiale attivo, combinate con binder di diversa natura e concentrazione. Saranno analizzate le relazioni tra composizione, proprietà reologiche, comportamento in stampa e stabilità post-deposizione. Saranno quindi prodotti ed ottimizzati oggetti monolitici stampati in 3D, valutando la conservazione della funzionalità delle particelle, l'integrità strutturale, le proprietà di trasporto e l'accessibilità dei siti attivi. Infine, i materiali saranno caratterizzati in condizioni applicative, con particolare riferimento a operazioni di *environmental remediation* e alla catalisi di reazioni chimiche di rilevanza industriale.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori, ...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività di ricerca prevederà l'impiego di strumentazioni dedicate alla caratterizzazione chimico-fisica dei materiali, tra cui diffrattometria a raggi X (XRD), spettroscopia FTIR, porosimetria a mercurio, analisi della microporosità mediante adsorbimento di gas, picnometria e granulometria laser. La caratterizzazione reologica degli impasti sarà effettuata mediante reometria rotazionale.

Gli esperimenti di stampa 3D saranno condotti utilizzando due differenti apparecchiature: una stampante custom, ottenuta mediante modifica di un dispositivo convenzionale per la stampa di polimeri, e una stampante commerciale specificamente progettata per materiali ceramici.

Sulle tematiche oggetto della proposta di dottorato, il gruppo di ricerca intrattiene collaborazioni con l'Università di Aveiro, in Portogallo, e con l'Università di Lipsia, in Germania.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

In funzione delle applicazioni di maggior interesse individuate nel corso dei primi due anni di dottorato, è previsto un periodo all'estero, da svolgersi all'inizio del terzo anno, in una delle seguenti sedi:

- Università di Aveiro, Portogallo
- Università di Lipsia, Germania

13)Proponent: Antonello Astarita - ENG

Proposed research topic: Digital and sustainable manufacturing

Reference curriculum: Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

Real-Time Environmental Assessment of Manufacturing Processes through Digital Twin Technologies

The manufacturing sector is currently facing the dual challenge of improving productivity while simultaneously reducing its environmental footprint. Although Life Cycle Assessment (LCA) has become the reference methodology for evaluating environmental impacts, traditional LCA approaches are generally static, retrospective, and unsuitable for supporting real-time decision-making in industrial environments. At the same time, the rapid diffusion of Industry 4.0 technologies has enabled the continuous acquisition of process data through sensors, cyber-physical systems, and Industrial Internet of Things (IIoT) platforms. However, these data are still rarely exploited to estimate environmental impacts dynamically during manufacturing operations.

This PhD project aims to develop an innovative Digital Twin framework capable of estimating and predicting the environmental impacts of manufacturing processes in real time. The proposed Digital Twin will integrate heterogeneous sources of process data with analytical models, machine learning techniques, and environmental assessment methodologies to generate continuously updated sustainability indicators. Unlike conventional Digital Twins primarily focused on process monitoring and quality control, the proposed framework will embed sustainability as a native component of the digital representation of manufacturing systems.

The research will investigate the integration of process parameters, machine status, energy consumption, material flows, and auxiliary resource usage into a unified Digital Twin architecture. Analytical models based on manufacturing physics will be combined with data-driven models trained using machine learning algorithms to estimate key environmental indicators, including energy consumption, greenhouse gas emissions, resource depletion, and other midpoint impact categories defined by internationally recognized LCA methodologies. Particular attention will be devoted to developing hybrid modelling strategies that combine the interpretability of physics-based models with the adaptability and predictive capabilities of artificial intelligence.

A further objective of the project is the development of predictive functionalities able not only to estimate current environmental impacts but also to forecast their future evolution under different operating conditions. Such capabilities would allow manufacturing systems to anticipate sustainability-related issues, evaluate alternative production strategies, and support optimization algorithms aimed at minimizing environmental impacts while maintaining productivity and product quality.

The project will also address one of the main limitations currently preventing the adoption of sustainability-oriented Digital Twins: the scarcity of reliable, high-quality environmental datasets linked to manufacturing operations. Methodologies for data acquisition, validation, harmonization, and uncertainty quantification will therefore be investigated to improve the robustness and reliability of real-time environmental assessments.

The proposed framework will be validated through industrial case studies involving advanced manufacturing processes, with particular emphasis on additive manufacturing and other energy-intensive production technologies. Experimental activities will include the acquisition of high-frequency process data, calibration of predictive models, comparison with conventional Life Cycle Assessment results, and evaluation of the Digital Twin performance in realistic industrial scenarios. The expected outcomes include a scalable Digital Twin architecture for environmental monitoring, novel hybrid predictive models for sustainability assessment, methodologies for integrating LCA into cyber-physical manufacturing systems, and a decision-support platform capable of providing real-time sustainability indicators. The research will contribute to bridging the gap between conventional environmental assessment methodologies and the emerging paradigm of smart

manufacturing, supporting industries in achieving more sustainable, data-driven, and resilient production systems aligned with the objectives of Industry 5.0 and the transition towards carbon-neutral manufacturing.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The DICMAPI laboratories are equipped with advanced research facilities, including high-performance workstations with dedicated engineering software, a wide range of sensors for manufacturing process monitoring, data acquisition and analysis systems, prototype sheet metal forming stations, CNC machining centers, and state-of-the-art 3D printing systems. These facilities will provide the PhD candidate with direct access to both the manufacturing processes under investigation and the experimental infrastructure required to develop, implement, and validate the proposed Digital Twin framework.

The research group has established long-standing collaborations with numerous national and international universities, research institutions, and industrial partners. Furthermore, it is actively involved in several nationally and internationally funded research projects, offering the PhD candidate the opportunity to conduct research in a multidisciplinary and highly collaborative environment while fully developing their scientific, technical, and professional skills.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The PhD candidate will undertake a research period abroad of at least six months at one of the international research groups involved in the project. The host institution will be selected jointly by the candidate and the supervisory team, taking into account the specific research activities to be carried out and the expertise offered by the partner institution, with the aim of maximizing the scientific impact of the research and fostering international collaboration.

ITA

Proponente: Antonello Astarita

Tematica di ricerca proposta: Digital and Sustainable Manufacturing

Curriculum di riferimento: Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Sviluppo di un Digital Twin per la valutazione e la previsione in tempo reale degli impatti ambientali dei processi di lavorazione.

La transizione verso un'industria sostenibile rappresenta una delle principali sfide del settore manifatturiero, chiamato a coniugare elevati livelli di produttività con una significativa riduzione degli impatti ambientali. In questo contesto, la Life Cycle Assessment (LCA) costituisce la metodologia di riferimento per la quantificazione delle prestazioni ambientali di prodotti e processi. Tuttavia, gli approcci LCA tradizionali risultano prevalentemente statici, basati su dati storici e non sono in grado di fornire informazioni tempestive a supporto delle decisioni operative. Parallelamente, la diffusione delle tecnologie dell'Industria 4.0 ha reso possibile la raccolta continua di grandi quantità di dati di processo attraverso sensori, sistemi cyber-fisici e piattaforme Industrial Internet of Things (IIoT). Tali informazioni, tuttavia, sono ancora scarsamente utilizzate per una valutazione dinamica della sostenibilità.

L'obiettivo del presente progetto di dottorato è sviluppare un Digital Twin innovativo dei processi di lavorazione, capace di stimare e prevedere in tempo reale gli impatti ambientali delle attività produttive. Il Digital Twin costituirà una replica digitale del processo manifatturiero, continuamente aggiornata mediante dati provenienti dall'ambiente fisico e arricchita da modelli matematici,

simulativi e data-driven, con lo scopo di generare indicatori ambientali affidabili durante l'intero ciclo di produzione.

L'architettura proposta integrerà dati relativi ai parametri di processo, ai consumi energetici, all'utilizzo di materiali, allo stato delle macchine e alle condizioni operative, combinandoli con modelli analitici basati sulla fisica del processo e con algoritmi di Machine Learning opportunamente addestrati. L'approccio multifidelity consentirà di sfruttare contemporaneamente modelli ad alta accuratezza, simulazioni numeriche e modelli predittivi basati sui dati, migliorando sia l'affidabilità delle stime sia la capacità di adattamento del sistema a differenti condizioni produttive.

Uno degli elementi maggiormente innovativi del progetto riguarda l'integrazione della metodologia LCA all'interno del Digital Twin. Invece di effettuare valutazioni ambientali esclusivamente a posteriori, il sistema sarà in grado di calcolare in tempo reale indicatori quali consumo energetico, emissioni di CO₂ equivalente, utilizzo delle risorse e altri indicatori ambientali previsti dagli standard internazionali ISO 14040 e ISO 14044. Inoltre, grazie all'impiego di modelli predittivi basati su tecniche di intelligenza artificiale, il Digital Twin potrà prevedere l'evoluzione futura degli impatti ambientali in funzione delle condizioni operative, consentendo l'identificazione preventiva di scenari critici e supportando strategie di ottimizzazione orientate alla sostenibilità.

Il progetto affronterà anche una delle principali criticità attualmente presenti nella letteratura scientifica: la mancanza di modelli affidabili e di basi dati strutturate che mettano in relazione i dati di processo con gli indicatori ambientali. Saranno pertanto sviluppate metodologie per l'acquisizione, la validazione e la gestione dei dati sperimentali, nonché procedure per la quantificazione dell'incertezza associata alle stime ambientali, aumentando la robustezza e l'affidabilità del sistema proposto.

La validazione del Digital Twin sarà effettuata mediante casi di studio industriali relativi a processi manifatturieri avanzati, con particolare attenzione ai processi ad elevata intensità energetica, quali la manifattura additiva e altre tecnologie innovative. Le prestazioni del sistema saranno confrontate con i risultati ottenuti mediante approcci LCA tradizionali, valutandone accuratezza, capacità predittiva e applicabilità in contesti industriali reali.

I risultati attesi comprendono lo sviluppo di una piattaforma digitale per il monitoraggio ambientale in tempo reale, la definizione di modelli ibridi innovativi per la stima e la previsione degli impatti ambientali e l'introduzione di strumenti di supporto alle decisioni capaci di orientare le strategie produttive verso soluzioni più sostenibili. Il progetto contribuirà a colmare il divario esistente tra le metodologie convenzionali di valutazione ambientale e le più recenti tecnologie digitali, favorendo l'evoluzione verso sistemi produttivi intelligenti, resilienti e sostenibili, in linea con gli obiettivi dell'Industria 5.0 e con le strategie europee per la transizione ecologica.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Presso i laboratori del DICMAPI sono presenti: workstation equipaggiate con software dedicati, numerosi sensori per l'acquisizione di dati di processo, sistemi di acquisizione ed analisi dati, stazioni prototipali per la stampa di lamiere, centri di lavoro per asportazione di truciolo e stampanti 3D. In questo modo lo studente avrà a disposizione sia i processi da studiare che quanto necessario per sviluppare i digital twin. IL gruppo di ricerca ha collaborazioni con numerose aziende ed Università italiane e straniere, numerosi sono i progetti finanziati che consentiranno allo studente di sviluppare a pieno le proprie capacità.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

IL periodo all'estero sarà di almeno 6 mesi e sarà svolto presso uno dei gruppi di ricerca coinvolti nelle attività, la meta precisa sarà scelta di concerto con lo studente sulla base delle specifiche

attività che si riterrà di svolgere.

14)Proponent: Prof. Sergio Caserta - ENG

Proposed research topic: Viscoelastic Emulsion Stability under Altered Gravity Conditions for Space Life Support Systems

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

The proposed research aims to investigate the dynamics, stability, and controlled separation of viscoelastic emulsions under altered gravity conditions (microgravity and hypergravity), with particular emphasis on wastewater management and recovery systems aboard the International Space Station (ISS). These systems are part of the Environmental Control and Life Support System (ECLSS), which is essential for sustaining human life during long-duration space missions.

Efficient water recovery is a critical requirement for the sustainability of future human space exploration, including the Lunar Gateway program and future Mars missions. In these environments, wastewater generated by onboard activities—such as personal hygiene, food preparation, and scientific experiments—constitutes complex multiphase systems containing oils, surfactants, organic matter, and biological components, which readily form highly stable emulsions that are difficult to separate.

Current wastewater treatment technologies have been designed to operate under terrestrial conditions, where gravity-driven phenomena such as sedimentation and buoyancy promote phase separation. On board the ISS, however, the absence of these mechanisms in microgravity makes the management of emulsified systems significantly more challenging. Although several studies have investigated emulsion stability under reduced gravity, they have primarily focused on ideal Newtonian systems, overlooking the behavior of complex viscoelastic fluids that more accurately represent industrial fluids and real wastewater.

This project seeks to bridge this knowledge gap through an integrated approach combining soft matter physics, chemical engineering, and biotechnology. Model emulsions inspired by spacecraft wastewater will be formulated by incorporating surfactants, oils, and biological components to reproduce the non-Newtonian behavior characteristic of these systems. Their rheological and interfacial properties will be characterized using bulk and interfacial rheology to identify the key parameters governing droplet deformation, breakup, coalescence, and aggregation.

The experimental investigation will be supported by microfluidic platforms and advanced imaging techniques, enabling direct visualization of transport phenomena and droplet interactions at the microscale while leveraging the research group's expertise in the study of complex fluids under flow. These experiments will be complemented by ground-based microgravity simulation platforms, such as the Random Positioning Machine (RPM), to investigate the influence of gravity on the evolution of emulsion microstructure.

The innovative aspect of the project lies in its systematic investigation of non-Newtonian emulsions under altered gravity conditions, moving beyond the simplified approaches commonly found in the existing literature. The project therefore represents a bridge between fundamental research and engineering applications, contributing to the advancement of the Technology Readiness Level (TRL) of wastewater treatment technologies for space applications. Expected outcomes include the identification of the dominant physical mechanisms governing emulsion stability, the development of efficient demulsification protocols, and the definition of design guidelines for separation units compatible with space life support systems.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD candidate will be integrated into an active and international research environment, acquiring interdisciplinary expertise spanning rheology, microfluidics, advanced imaging, and experimental methodologies for space research, while contributing to the development of fundamental knowledge and enabling technologies for the sustainable human presence in space.

The training program will include advanced courses in the rheology of complex fluids, soft matter physics, and transport phenomena, with particular emphasis on multiphase systems and emulsions. These competencies will be essential for understanding the behavior of viscoelastic fluids under microgravity conditions and for developing predictive models to support the design of efficient separation systems. Such courses are already included in the University's academic offering, enabling the candidate to acquire these skills from the first year of the PhD program. Participation in specialized doctoral schools, such as the Italian Society of Rheology (SIR) Industrial Rheology School, will represent a key component of the candidate's training.

In parallel, the PhD candidate will develop advanced experimental skills in microfluidics and imaging techniques, including high-speed image acquisition and quantitative image analysis methods for the direct investigation of droplet interactions, coalescence, and breakup phenomena. Specific training will also be provided on the use of ground-based microgravity simulation platforms, such as the Random Positioning Machine (RPM), and on the design of experiments under reduced-gravity conditions, including the preparation of potential parabolic flight campaigns. The emulsions will be characterized through image analysis using optical microscopy and high-speed time-lapse imaging to monitor the evolution of droplet size distributions during and after the emulsification process under altered gravity conditions.

The proposed PhD project is closely linked to the SEEDS project, supported by the European Space Agency (ESA) to perform experimental campaigns aboard the International Space Station. In addition, Professor Caserta's research group at DICMaPI (REMICS, <http://www.remics.unina.it>) has recently submitted a proposal to ESA for an experimental campaign using free-flyer platforms, which is currently under evaluation. The group has also submitted a project related to SEEDS to the Italian Space Agency (ASI), in collaboration with the University of Parma and the National Research Council (CNR) of Genoa. This ASI proposal has successfully passed the first evaluation stage and will undergo final assessment in the coming months. If funded, it will provide financial support for the PhD research activities.

During the doctoral program, the candidate is also expected to contribute to the preparation of a proposal for a parabolic flight campaign, in which they may directly participate. Parabolic flights provide short-duration microgravity and partial-gravity conditions. Starting from steady horizontal flight, the aircraft climbs at an angle of approximately 50°, generating about 20 seconds of hypergravity (approximately 1.8 g). Engine thrust is then reduced so that the aircraft follows a free-fall trajectory, allowing passengers to experience approximately 22 seconds of microgravity. Finally, as the aircraft recovers to horizontal flight, another hypergravity phase of about 20 seconds is produced. These experimental campaigns provide a unique opportunity to investigate emulsification and separation processes under conditions closely resembling those encountered during space exploration.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The research period abroad may be carried out at the Aristotle University of Thessaloniki (AUTH, Greece) under the supervision of Professor Thodoris D. Karapantsios, or alternatively at the European Space Research and Technology Centre (ESTEC) of the European Space Agency (ESA) in Noordwijk, the Netherlands, under the supervision of Dr. Jack J.W.A. van Loon.

Professor Karapantsios' research group has internationally recognized expertise in the study of emulsion stability and phase separation under microgravity conditions. Its activities include experiments conducted during parabolic flight campaigns and the development of dedicated

experimental devices for investigating multiphase systems in space environments. The group's research is closely aligned with European initiatives in soft matter physics under microgravity and is highly complementary to the scientific priorities of both the Italian Space Agency (ASI) and the European Space Agency (ESA).

Alternatively, a research stay at ESTEC would provide the PhD candidate with the opportunity to work at one of Europe's leading space research centers, gaining access to state-of-the-art facilities for altered-gravity research, including the Random Positioning Machine (RPM) and the Large Diameter Centrifuge (LDC). These platforms enable the systematic investigation of the effects of gravity on transport phenomena and the dynamics of multiphase systems, providing a unique experimental environment for the study of viscoelastic emulsions.

In both cases, the planned activities will be fully aligned with the objectives of the PhD project and with the ASI research priority concerning the development of technologies for resource recovery and management within Environmental Control and Life Support Systems (ECLSS). The PhD candidate will be involved in the experimental investigation of the stability and dynamics of emulsions under altered gravity, with particular emphasis on droplet coalescence, droplet size distribution, and the spatial organization of dispersed phases.

The research stay will also provide access to advanced experimental facilities and instrumentation, including equipment for the characterization of interfacial properties (such as Kerberos systems for contact angle measurements), as well as specialized expertise in the design and implementation of experimental setups for multiphase systems under reduced-gravity conditions. This experience will complement the research activities carried out at the University of Naples Federico II, strengthening the interdisciplinary nature of the project.

The collaboration is embedded within an already established network of scientific cooperation among the participating research groups and European space agencies, ensuring a high level of integration between the research activities and providing a solid pathway toward future experiments on space platforms.

ITA

Proponente: Prof. Sergio Caserta

Tematica di ricerca proposta: Stabilità di emulsioni viscoelastiche in condizioni di gravità alterata per sistemi di supporto alla vita nello spazio.

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

L'attività di ricerca proposta è finalizzata allo studio della dinamica, della stabilità e della separazione controllata di emulsioni viscoelastiche in condizioni di gravità alterata (micro- o iper-gravità), con particolare riferimento ai sistemi di gestione e recupero delle acque reflue a bordo della Stazione Spaziale Internazionale (ISS). Tali sistemi fanno parte di un apparato chiamato Environmental Control and Life Support Systems, e supportano la vita dell'uomo nelle missioni spaziali di lunga durata.

Il recupero efficiente dell'acqua rappresenta infatti un elemento critico per la sostenibilità delle future missioni umane nello spazio, come quelle previste nell'ambito del Lunar Gateway e delle future esplorazioni marziane. In tali contesti, le acque reflue generate dalle attività di bordo (igiene personale, preparazione del cibo, esperimenti scientifici) costituiscono sistemi multifase complessi contenenti oli, tensioattivi, materia organica e componenti biologiche, che tendono a formare emulsioni altamente stabili e difficili da separare.

Le tecnologie attualmente impiegate per il trattamento delle acque reflue sono progettate per operare in condizioni terrestri, dove fenomeni gravitazionali come sedimentazione e galleggiamento favoriscono la separazione delle fasi. A bordo della ISS, in condizioni di microgravità, l'assenza di tali meccanismi rende la gestione di sistemi emulsionati significativamente più complessa. Sebbene alcuni studi abbiano analizzato la stabilità delle emulsioni in condizioni di gravità ridotta, questi si sono prevalentemente concentrati su sistemi ideali di tipo Newtoniano, trascurando il

comportamento di fluidi complessi viscoelastici, che rappresentano invece la realtà dei sistemi industriali e delle acque reflue reali.

Il progetto si propone di colmare questa lacuna attraverso un approccio integrato che combina fisica della materia soffice, ingegneria chimica e biotecnologie. Verranno formulate emulsioni modello ispirate alle acque reflue di bordo, includendo tensioattivi, oli e componenti biologiche, al fine di riprodurre il comportamento non-Newtoniano tipico di tali sistemi. Questi sistemi saranno caratterizzati mediante tecniche di reologia di bulk e interfaccia, per identificare i parametri chiave che governano i fenomeni di deformazione, rottura, coalescenza e aggregazione delle gocce.

L'analisi sperimentale sarà supportata dall'impiego di piattaforme microfluidiche e tecniche avanzate di imaging, che consentiranno di visualizzare direttamente i fenomeni di trasporto e le interazioni tra gocce su scala microscopica, sfruttando le competenze del gruppo di ricerca nello studio di sistemi complessi sotto flusso. Tali esperimenti saranno affiancati dall'utilizzo di piattaforme di simulazione della microgravità a terra, come Random Positioning Machine (RPM), per investigare il ruolo della gravità nell'evoluzione della microstruttura delle emulsioni.

L'elemento innovativo del progetto risiede nello studio sistematico di emulsioni non-Newtoniane in condizioni di gravità alterata, superando l'approccio semplificato della letteratura esistente. Il progetto si pone quindi come ponte tra ricerca fondamentale e applicazioni ingegneristiche, contribuendo all'avanzamento del Technology Readiness Level (TRL) di tecnologie per il trattamento delle acque reflue in ambiente spaziale. Tra i risultati attesi si includono l'identificazione dei meccanismi fisici dominanti, lo sviluppo di protocolli di demulsificazione efficienti e la definizione di linee guida per la progettazione di unità di separazione compatibili con sistemi di supporto alla vita.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando sarà inserito in un contesto di ricerca attivo e internazionale, acquisendo competenze interdisciplinari che spaziano dalla reologia alla microfluidica, dall'imaging avanzato alle metodologie sperimentali per lo spazio, contribuendo allo sviluppo di conoscenze fondamentali e tecnologie abilitanti per la presenza umana sostenibile nello spazio.

Il percorso formativo includerà insegnamenti avanzati nell'ambito della reologia dei fluidi complessi, della fisica della materia soffice e dei fenomeni di trasporto, con particolare attenzione ai sistemi multifase e alle emulsioni. Tali competenze saranno fondamentali per comprendere il comportamento di fluidi viscoelastici in condizioni di microgravità e per sviluppare modelli predittivi utili alla progettazione di sistemi di separazione. L'offerta formativa dell'ateneo prevede già tali corsi, permettendo le acquisizioni di tali conoscenze già dal primo anno di attività. Partecipazioni a scuole di dottorato come la scuola di Reologia industriale della SIR saranno prioritarie per la formazione del dottorando.

Parallelamente, il dottorando acquisirà competenze sperimentali nell'utilizzo di tecniche avanzate di microfluidica e imaging, incluse l'acquisizione di immagini ad alta velocità, lo sviluppo di metodologie di analisi quantitativa delle immagini, che permettono lo studio diretto delle interazioni tra gocce e dei fenomeni di coalescenza e breakup. Saranno inoltre previste attività formative specifiche sull'utilizzo di piattaforme di simulazione della microgravità (ad esempio Random Positioning Machine) e sulla progettazione di esperimenti in condizioni di gravità ridotta, anche per la progettazione di eventuali campagne in volo parabolico.

Le emulsioni saranno caratterizzate tramite analisi delle immagini, osservando le gocce in microscopia ottica e time-lapse tramite videocamere ad alta velocità per osservare l'evoluzione della distribuzione di gocce nel tempo durante e dopo il processo di emulsificazione, in condizioni di gravità modificata.

Il progetto di dottorato si ricollega al progetto SEEDS supportato dall'ESA per effettuare campagne sperimentali sulla stazione spaziale. A questo si aggiunge che il gruppo del prof. Caserta del DICMaPI (REMICS, <http://www.remics.unina.it>) ha recentemente sottomesso una richiesta per una campagna sperimentale ESA con *free flyers*, attualmente in fase di valutazione, ed ha proposto un progetto legato al SEEDS all'agenzia Spaziale Italiana ASI, in collaborazione con l'università di Parma ed il CNR di Genova. Il progetto ASI ha già superato la prima fase e nei prossimi mesi sarà valutato per un possibile finanziamento che potrà fornire un supporto economico al percorso di dottorato.

Durante il percorso di dottorato si prevede di lavorare ad una proposta per una campagna di volo parabolico cui il dottorando potrà partecipare. I voli parabolici simulano condizioni di microgravità a breve termine e gravità parziale. Partendo da un volo orizzontale stabile, il pilota aumenta la spinta e inizia gradualmente una cabrata fino a raggiungere un'inclinazione di circa 50°. Durante questa fase di cabrata, che dura circa 20 secondi, l'accelerazione lungo l'asse z dell'aereo è pari circa a 1,8g. Successivamente, la spinta dei motori viene fortemente ridotta per compensare solo la resistenza dell'aria: l'aereo entra così in una fase di caduta libera durante la quale i passeggeri sperimenteranno circa 22 secondi di microgravità. Alla fine della manovra, con la testa dell'aereo inclinato verso il basso di circa 42°, il pilota riprende il volo orizzontale, generando un'altra fase di 20 secondi a gravità incrementata. Tramite queste campagne sperimentali è quindi possibile effettuare delle analisi su breve tempo dei processi di emulsificazione in condizioni che mimano quelle tipiche dell'esplorazione spaziale.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il periodo di ricerca all'estero potrà essere svolto presso l'Aristotle University of Thessaloniki (AUTH, Grecia), sotto la supervisione del Prof. Thodoris D. Karapantsios, oppure, in alternativa, presso l'European Space Research and Technology Centre (ESTEC) dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) a Noordwijk (Paesi Bassi), sotto la supervisione del Dr. Jack J.W.A. van Loon.

Il gruppo del Prof. Karapantsios presenta una consolidata esperienza internazionale nello studio della stabilità delle emulsioni e dei fenomeni di separazione in condizioni di microgravità, con attività che includono esperimenti in voli parabolici e lo sviluppo di dispositivi dedicati allo studio di sistemi multifase in ambiente spaziale. Le attività del gruppo si inseriscono nel contesto delle iniziative europee sulla fisica della materia soffice in microgravità, in forte sinergia con le priorità scientifiche dell'ASI e dell'ESA.

In alternativa, il periodo presso ESTEC consentirebbe al dottorando di operare in uno dei principali centri europei per la ricerca spaziale, accedendo a infrastrutture avanzate per la simulazione della microgravità, quali la Random Positioning Machine (RPM) e la Large Diameter Centrifuge (LDC). Tali piattaforme permettono di investigare sistematicamente il ruolo della gravità nei fenomeni di trasporto e nella dinamica dei sistemi multifase, fornendo un contesto sperimentale unico per lo studio delle emulsioni viscoelastiche.

In entrambi i casi, le attività previste saranno pienamente coerenti con gli obiettivi del progetto di dottorato e con la tematica ASI relativa allo sviluppo di tecnologie per il recupero e la gestione delle risorse nei sistemi di supporto alla vita (ECLSS). Il dottorando sarà coinvolto nello studio sperimentale della stabilità e della dinamica di emulsioni in condizioni di gravità alterata, con particolare attenzione ai fenomeni di coalescenza, distribuzione dimensionale delle gocce e organizzazione spaziale delle fasi disperse.

Il periodo all'estero consentirà inoltre l'accesso a strumentazioni e piattaforme sperimentali avanzate, tra cui dispositivi per la caratterizzazione delle proprietà interfacciali (ad esempio sistemi per la misura dell'angolo di contatto come Kerberos), nonché a competenze specifiche nello sviluppo di setup sperimentali per sistemi multifase in condizioni di gravità ridotta. Questo

permetterà di integrare le attività svolte presso l'Università di Napoli Federico II con metodologie complementari, rafforzando l'approccio interdisciplinare del progetto.

La collaborazione si inserisce in una rete di cooperazione scientifica già attiva tra i gruppi coinvolti e con enti spaziali europei, garantendo un elevato livello di integrazione tra le attività di ricerca e una concreta prospettiva di sviluppo verso esperimenti in piattaforme spaziali.

15)Proponent: Prof. Bruno de Gennaro e Prof. Giuseppina Luciani - ENG

Proposed research topic: Natural zeolite-based biocomposites for catalytic removal of emerging contaminants.

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

In a constantly changing society with exponentially increasing industrialization, ensuring access to uncontaminated drinking water resources is a priority goal. Major threats to the water body include emerging contaminants released by the textile, food, pharmaceutical and cosmetic industries. The class of emerging contaminants includes all those substances that are hardly removed by conventional treatment plants as well as all compounds for which limits to their concentration have been proposed but not yet translated into regulatory obligations. Among the methods commonly used for their removal from wastewater, adsorption with porous materials is considered the most reliable, simple and economical. There is increasing interest in applications of zeolite-based materials due to their ion exchange capacity and biocompatibility. Recent studies have also demonstrated the effectiveness of biopolymers, such as polydopamine, chitosan, cellulose, and alginate, to functionalize the surface of zeolites, improving their adsorption properties. In particular, the reducing and chelating characteristics of such biopolymers toward metal ions can be effectively exploited to produce environmentally friendly catalysts for the adsorption and degradation of contaminants.

In this scenario, a biocomposite obtained from the combination of polydopamine/zeolite with metallic silver has been employed in recent studies by the proponent group to adsorb dyes by studying their adsorption and reduction cycles using Sodium Borohydride as a reducing agent. The composites have shown high efficacy in the removal of selected dyes over multiple treatment cycles, promoting interest in an in-depth study of such materials to enable their technological application and use in wastewater treatment.

The present Ph.D. project proposal, focuses on the development of adsorbent materials, based on suitably modified natural zeolites for the removal and degradation of emerging contaminants. The initial phase of the project will focus on literature research aimed at both selecting appropriate materials for the realization of the biocomposite and identifying the best techniques for its synthesis and regeneration, as well as identifying current techniques in use in different industries.

Materials based on bioavailable polymers and natural zeolites will be synthesized, the produced systems will be subjected to thermodynamic and kinetic adsorption tests considering contaminant concentrations close to the real ones. In addition, the behavior of these materials in mixed pollutant systems will be evaluated with the aim of assessing possible affinities and interferences. Thereafter, the PhD project will focus on optimizing the biocomposite regeneration process through the use of environmentally friendly reducing agents by implementing a circular and more sustainable approach involving its reuse in multiple adsorption cycles.

The proper functionalization aims at making zeolite a reusable material in successive adsorption/desorption cycles due to the presence of metallic silver particles that act as a catalyst for contaminant degradation. Finally, in a logic of industrial scale-up, the research goal is to implement an appropriate column system to investigate the efficiency of the composite system under dynamic settings.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The Ph.D. project involves the development of systems based on zeolites, natural or synthetic, functionalized with bioavailable polymers and a metal catalyst to promote their reuse in the removal, through adsorption and reduction, of emerging contaminants. At the same time, in-depth

physicochemical characterizations will be carried out on the synthesized systems using common investigation techniques, including:

- XRPD, for characterization of the obtained composites by X-ray analysis;
- SEM-EDS, for checking the obtained structure and evaluating elemental content;
- Microporosimetry, for evaluation of BET surface area;
- FT-IR, to obtain information on the composition of the formulated biocomposite and the functional groups present;
- TGA/DTA, for monitoring the mass loss of the material and enabling the study of thermo-degradation and thermo-oxidation;
- UV-Vis, to measure the goodness of adsorption in terms of residual concentrations of contaminants in solution;
- ICP-OES, for elemental composition analysis, of cationic species in solution.
- Microwave mineralizer, for digestion of solid phases to be prepared for their characterization, as well as for synthesis of new phases
- Molds for high-temperature treatments (1500°C)
- LC liquid chromatography for elemental analysis of cationic and anionic species constituting biocomposites

The project will be carried out in collaboration with Prof. Brigida Silvestri of the Department of Civil, Building and Environmental Engineering (DICEA) of the University of Naples Federico II.

Brief information relating to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

Due to the decades-long collaboration with Dr. Aleksandra Dakovic's group at the INSTITUTE FOR TECHNOLOGY OF NUCLEAR AND OTHER MINERAL RAW MATERIALS (ITNMS), Belgrade, Serbia, and the experience this group has in modifying and subsequent characterization of zeolitized materials, a period of at least 6 months at ITNMS is planned to further explore the proposed topic.

ITA

Proponente: Prof. Bruno de Gennaro e Prof. Giuseppina Luciani

Tematica di ricerca proposta: Biocompositi a base di zeoliti naturali per la rimozione catalitica di contaminanti emergenti.

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria Chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

In una società in costante trasformazione e con un'industrializzazione che cresce esponenzialmente, garantire l'accesso a risorse idriche potabili non contaminate è un obiettivo prioritario. Tra le principali minacce del corpo idrico figurano i contaminanti emergenti rilasciati dalle industrie tessili, alimentari, farmaceutiche e cosmetiche. Nella classe dei contaminanti emergenti rientrano tutte quelle sostanze che difficilmente riescono ad essere rimosse dai convenzionali impianti di trattamento nonché tutti i composti per i quali sono stati proposti limiti alla loro concentrazione non ancora tradotti in obblighi normativi. Tra i metodi comunemente utilizzati per la loro rimozione dalle acque reflue, l'adsorbimento con materiali porosi è considerato quello più affidabile, semplice ed economico. Un interesse sempre crescente è rivolto alle applicazioni di materiali a base di zeolite grazie alla loro capacità di scambio ionico e biocompatibilità. Studi recenti hanno anche dimostrato l'efficacia di biopolimeri, come polidopamina, chitosano, cellulosa e alginato, per funzionalizzare la superficie delle zeoliti, migliorandone le proprietà di adsorbimento. In particolare, le caratteristiche riducenti e chelanti di tali biopolimeri nei confronti di ioni metallici possono essere sfruttate

efficacemente per produrre catalizzatori ecologici per l'adsorbimento e la degradazione di contaminanti.

Un biocomposito ottenuto a partire dalla combinazione polidopamina/zeolite con argento metallico è stato impiegato, in studi recenti del gruppo proponente, per l'adsorbimento di coloranti studiandone i cicli di adsorbimento e riduzione mediante l'uso del Sodio Boridruro come agente riducente. I compositi hanno mostrato elevata efficacia nella rimozione dei coloranti selezionati su più cicli di trattamento, promuovendo l'interesse per uno studio approfondito su tali materiali che ne consenta l'applicazione tecnologica e l'impiego nel trattamento delle acque reflue.

In questo contesto si colloca il presente progetto di Dottorato che focalizza l'attenzione sulla realizzazione di materiali adsorbenti, a base di zeoliti naturali opportunamente modificate per la rimozione ed il degrado di contaminanti emergenti. La fase iniziale del progetto sarà incentrata sulla ricerca in letteratura finalizzata sia a selezionare i materiali opportuni per la realizzazione del biocomposito, sia ad individuare le migliori tecniche di sintesi e rigenerazione di questo, nonché identificare le attuali tecniche in uso nei diversi settori industriali.

Saranno successivamente sintetizzati materiali a base di polimeri biodisponibili e zeoliti naturali. I sistemi prodotti saranno sottoposti a prove termodinamiche e cinetiche di adsorbimento saranno valutate le capacità adsorbenti dei sistemi sintetizzati considerando concentrazioni di contaminanti prossime a quelle reali, sarà inoltre valutato il comportamento di tali materiali in sistemi misti di inquinanti con lo scopo di valutare eventuali affinità ed interferenze. Successivamente il progetto di Dottorato sarà focalizzato sull'ottimizzazione del processo di rigenerazione del biocomposito attraverso l'utilizzo di agenti riducenti ecocompatibili implementando un approccio circolare e maggiormente sostenibile che preveda il suo riutilizzo in più cicli di adsorbimento.

Attraverso la funzionalizzazione, l'obiettivo è rendere la zeolite un materiale riutilizzabile in cicli successivi di adsorbimento/desorbimento, grazie alla presenza di particelle di argento metallico che fungono da catalizzatore per la degradazione dei contaminanti. Infine, in una logica di scale-up industriale, l'obiettivo della ricerca è l'implementazione di un appropriato sistema a colonna per studiare l'efficienza del sistema composito in condizioni dinamiche.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il progetto di Dottorato prevede lo sviluppo di sistemi a base di zeolite naturale, funzionalizzata con polimeri biodisponibili ed un catalizzatore metallico per promuovere il loro riutilizzo nella rimozione, attraverso adsorbimento e successiva riduzione, di contaminanti emergenti. Contemporaneamente, sui sistemi sintetizzati verranno effettuate caratterizzazioni chimico-fisiche approfondite utilizzando le comuni tecniche di indagine, tra cui:

- XRPD, per la caratterizzazione dei compositi ottenuti attraverso analisi ai raggi X;
- SEM-EDS, per la verifica della struttura ottenuta e per la valutazione del contenuto elementale;
- Microporosimetria, per la valutazione dell'area superficiale BET;
- FT-IR, per ottenere informazioni sulla composizione del biocomposito formulato e sui gruppi funzionali presenti;
- TGA/DTA, per monitorare la perdita di massa del materiale e permettere di studiare la termo-degradazione e la termo-ossidazione;
- UV-Vis, per misurare la bontà dell'adsorbimento in termini di concentrazioni residue dei contaminanti in soluzione;
- ICP-OES, per l'analisi della composizione elementale, di specie cationiche in soluzione.
- Mineralizzatore a microonde, per la digestione di fasi solide da preparare per la loro caratterizzazione, nonché per la sintesi di nuove fasi

- Muffole per trattamenti ad alta temperatura (1500°C)
- Cromatografia liquida LC per l'analisi elementale di specie cationiche ed anioniche costituenti i biocompositi.

Il progetto sarà svolto in collaborazione con la Prof. Brigida Silvestri del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale (DICEA) dell'Università di Napoli Federico II.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Data la decennale collaborazione con il gruppo della Dr. Aleksandra Dakovic dell'INSTITUTE FOR TECHNOLOGY OF NUCLEAR AND OTHER MINERAL RAW MATERIALS (ITNMS), di Belgrado in Serbia, e l'esperienza che questo gruppo ha per la modifica e successiva caratterizzazione di materiali zeolitizzati, si prevede un periodo di almeno 6 mesi presso l'ITNMS per approfondire la tematica proposta.

16) Proponente: Prof. Ernesto Di Maio - ITA

Tematica di ricerca proposta: Ruolo della cristallinità nella schiumatura dei polimeri semicristallini: dalla comprensione dei meccanismi fondamentali alla progettazione di materiali cellulari innovativi

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture, Ingegneria Chimica.

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

La schiumatura fisica dei polimeri mediante gas compressi rappresenta una tecnologia di crescente interesse per la produzione di materiali cellulari leggeri, sostenibili e ad elevate prestazioni. Le proprietà finali delle schiume dipendono fortemente dalla morfologia, le cui caratteristiche sono il risultato dei fenomeni di nucleazione, crescita e stabilizzazione delle celle. Nei polimeri semicristallini, tali fenomeni sono fortemente influenzati dalla presenza della fase cristallina.

La letteratura scientifica ha ampiamente dimostrato che la cristallinità influenza l'assorbimento e la diffusione del gas, favorisce la nucleazione eterogenea delle celle e contribuisce alla stabilizzazione della struttura espansa. Tuttavia, il ruolo specifico della fase cristallina è ancora solo parzialmente compreso, poiché nella maggior parte degli studi il ruolo della cristallinità viene analizzato indirettamente, creando correlazioni con le morfologie risultanti. Di conseguenza, risulta ancora difficile isolare il contributo rispetto agli altri fenomeni che governano la schiumatura. Inoltre il ruolo della fase cristallina in polimeri più complessi, come gli elastomeri termoplastici, risulta poco esplorato.

L'obiettivo del progetto è quello di comprendere il ruolo della fase cristallina durante le diverse fasi della schiumatura sviluppando approcci sistematici che permettano di comprendere il ruolo della cristallinità come variabile indipendente del processo di schiumatura fisica e tramite il design di tecniche innovative mirate allo studio delle proprietà del materiale in situ. Attraverso la realizzazione di strutture semicristalline controllate mediante opportuni trattamenti termici, verranno investigate le relazioni tra struttura cristallina, trasporto del gas, nucleazione, crescita e stabilizzazione delle celle, al fine di costruire correlazioni quantitative tra struttura del materiale, parametri di processo e morfologia finale della schiuma.

La ricerca si articolerà in quattro fasi principali:

1. **Studio dello stato dell'arte**, con particolare attenzione ai meccanismi di trasporto del gas nei polimeri semicristallini, ai fenomeni di nucleazione e crescita delle celle e al ruolo della cristallinità nei processi di schiumatura fisica.
2. **Preparazione e caratterizzazione dei materiali**, mediante la realizzazione di differenti stati cristallini attraverso trattamenti termici controllati e la loro caratterizzazione mediante tecniche termiche, strutturali e reologiche.
3. **Studio del ruolo dei cristalli nel processo di schiumatura fisica**, analizzando la solubilità e la diffusività dei gas espandenti, i meccanismi di nucleazione eterogenea e l'evoluzione della morfologia durante l'espansione in situ, correlando tali fenomeni con le caratteristiche della fase cristallina.
4. **Sviluppo di criteri di progettazione dei materiali cellulari**, finalizzati alla definizione di relazioni struttura-processo-proprietà che consentano di utilizzare la cristallinità come parametro progettuale per ottenere schiume con morfologie e proprietà controllate.
5. **Design di processi innovativi** per la realizzazione di una nuova classe di materiali multifasici, che sfruttano oltre alla presenza di una fase polimerica amorfa e di una fase gassosa, anche una fase polimerica ordinata (cristallina).

L'aspetto innovativo del progetto consiste nel considerare la cristallinità non soltanto come una caratteristica intrinseca del polimero, ma come una vera e propria fase funzionale del materiale cellulare. In questa prospettiva, il materiale espanso potrà essere interpretato come un sistema costituito da tre fasi — matrice polimerica, fase cristallina e fase gassosa — nelle quali la cristallinità assume il ruolo di elemento progettuale capace di governare la formazione della struttura cellulare e, conseguentemente, le proprietà finali del materiale.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il lavoro sperimentale sarà svolto presso i laboratori del DICMaPI nonché presso laboratori e centri di ricerca pubblici e privati con i quali sussistono collaborazioni. Durante il progetto di dottorato si utilizzeranno sia macchine per la produzione di schiume, strumentazioni per il monitoraggio del processo in situ, e sarà prevista la progettazione ad hoc di macchinari per analisi specifiche. Saranno effettuate prove di caratterizzazione termica, strutturale e reologica dei materiali polimerici, e prove di caratterizzazione sui manufatti schiumati come analisi morfologiche (SEM e micro-CT), prove meccaniche e termiche.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo di ricerca della durata di circa sei mesi, a partire dal secondo anno di dottorato, presso i Laboratori del Prof. Kentaro Taki, Kanazawa University, Japan. Le ricerche del gruppo sono specializzate nella produzione di schiume polimeriche e nello specifico nella comprensione dei fenomeni che governano la nucleazione omogenea ed eterogenea delle bolle, la loro crescita e la stabilizzazione, con strumentazioni avanzate e l'accesso a strutture che permettono la caratterizzazione in situ del materiale durante tutte le fasi della schiumatura.

ENG

Proponent: Prof. Ernesto Di Maio

Proposed research topic: Role of crystallinity in the foaming of semicrystalline polymers: from the understanding of fundamental mechanisms to the design of innovative cellular materials

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering, Chemical Engineering

Summary of the research project (state of the art, short program of the planned activities and objectives)

Physical foaming of polymers is a technology of growing interest for the production of lightweight, sustainable, and high-performance cellular materials. The final properties of polymer foams strongly depend on their morphology, whose characteristics result from the phenomena of cell nucleation, growth, and stabilization. In semicrystalline polymers, these phenomena are strongly influenced by the presence of the crystalline phase.

The scientific literature has widely demonstrated that crystallinity affects gas absorption and diffusion, promotes heterogeneous cell nucleation, and contributes to the stabilization of the expanded structure. However, the specific role of the crystalline phase is still only partially understood, since in most studies the effect of crystallinity has been investigated indirectly by correlating it with the resulting foam morphologies. Consequently, it is still difficult to isolate its contribution from the other phenomena governing the foaming process. Furthermore, the role of the crystalline phase in more complex polymers, such as thermoplastic elastomers, remains largely unexplored.

The objective of the project is to understand the role of the crystalline phase during the different stages of the foaming process by developing systematic approaches that enable the investigation of crystallinity as an independent variable in physical foaming, together with the design of innovative techniques aimed at studying the material properties *in situ*. Through the preparation of controlled semicrystalline structures by means of appropriate thermal treatments, the relationships among crystalline structure, gas transport, cell nucleation, cell growth, and stabilization will be investigated, with the aim of establishing quantitative correlations between material structure, processing parameters, and the final foam morphology.

The research will be structured into five main phases:

1. **State-of-the-art review**, with particular attention to gas transport mechanisms in semicrystalline polymers, the phenomena of heterogeneous cell nucleation and growth, and cell stabilization/collapse.
2. **Material preparation and characterization**, through the production of different crystalline states by means of controlled thermal treatments, followed by their characterization using thermal, structural, and rheological techniques.
3. **Investigation of the role of the crystalline phase in the physical foaming process**, by experimentally analyzing the solubility and diffusivity of blowing gases, the mechanisms of heterogeneous cell nucleation, and the evolution of foam morphology during *in situ* expansion, correlating these phenomena with the characteristics of the crystalline phase.
4. **Development of design criteria for cellular materials**, aimed at establishing structure-process-property relationships that enable crystallinity to be used as a design parameter for obtaining foams with controlled morphologies and properties.
5. **Design of innovative processing routes** for the development of a new class of multiphase materials, exploiting not only the presence of an amorphous polymer phase and a gaseous phase, but also an ordered (crystalline) polymer phase.

The innovative aspect of the project lies in considering crystallinity not merely as an intrinsic characteristic of the polymer, but as a true functional phase of the cellular material. From this perspective, the expanded material can be regarded as a three-phase system—comprising the polymer matrix, the crystalline phase, and the gaseous phase—in which crystallinity acts as a design element capable of governing the formation of the cellular structure and, consequently, the final properties of the material.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories, ...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also companies), potentially relevant to the proposed topic.

The experimental work will be carried out at the DICMaPI laboratories, as well as at public and private laboratories and research centers with which active collaborations are in place. During the PhD project, equipment for polymer foam production and instrumentation for *in situ* process monitoring will be employed, and the *ad hoc* design of dedicated experimental apparatus for specific analyses is also envisaged. Thermal, structural, and rheological characterization of the polymeric materials will be performed, together with the characterization of the foamed products by means of morphological analyses (SEM and micro-CT), as well as mechanical and thermal testing.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution,...)

A research period of approximately six months is planned, starting from the second year of the PhD program, at the laboratories of Prof. Kentaro Taki, Kanazawa University, Japan. The research activities of this group are specialized in polymer foaming, with particular emphasis on understanding the phenomena governing homogeneous and heterogeneous bubble nucleation, bubble growth, and stabilization. The laboratories are equipped with advanced instrumentation and provide access to facilities that enable *in situ* characterization of the material throughout all stages of the foaming process.

17)Proponente: Prof. Ernesto Di Maio - ITA

Tematica di ricerca proposta:Membrane polimeriche porose ad architettura controllata mediante ingegnerizzazione delle instabilità di flussoProduzione di membrane polimeriche porose avanzate mediante schiumatura fisica: controllo delle instabilità di flusso per lo sviluppo di morfologie funzionali tailor-made

Curriculum di riferimento:Ingegneria dei Materiali e delle Strutture, Ingegneria Chimica.

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

Le membrane polimeriche porose trovano impiego in numerosi settori, tra cui filtrazione, separazione, biomedicale, sensoristica e microfluidica. Le loro prestazioni dipendono principalmente dalla dimensione, distribuzione e densità dei pori, motivo per cui le tecnologie attualmente impiegate sono orientate alla produzione di strutture con pori il più possibile regolari e controllati. Tuttavia, questa concezione limita le membrane a semplici dispositivi passivi, la cui funzionalità è determinata esclusivamente dalla geometria statica della porosità.

Il presente progetto propone un cambio di paradigma nello sviluppo delle membrane porose, introducendo il concetto di “*morphology-driven functional membranes*”, nelle quali la funzione non deriva solamente dalla presenza della porosità, ma dalla progettazione della morfologia dei pori. In questa prospettiva, la forma della porosità diventa un nuovo parametro progettuale, capace di conferire proprietà e funzionalità non ottenibili mediante membrane convenzionali.

Recenti studi hanno dimostrato che la schiumatura fisica ha dimostrato di essere una tecnologia promettente per la produzione di membrane polimeriche sottili con porosità nella scala micro- e nanometrica. Infatti la tecnologia può essere adattata per la produzione di porosità in componenti con almeno una dimensione caratteristica in scala micro- e nanometrica, come microparticelle, fibre o film. In particolare è stato osservato che durante la crescita delle celle nei film di ridotto spessore, possano svilupparsi instabilità di flusso in grado di generare pori con morfologie altamente non convenzionali, superando la tradizionale geometria circolare. In questo contesto, le instabilità di flusso non costituiscono un difetto del processo, bensì uno strumento di progettazione capace di generare architetture porose funzionali.

Nonostante queste prime osservazioni, i meccanismi responsabili della formazione di tali strutture e le potenziali applicazioni di queste nuove architetture porose risultano ancora largamente inesplorati. Tali geometrie potrebbero consentire, ad esempio, la realizzazione di membrane in grado di adattare localmente l'apertura dei pori in funzione della pressione del fluido, favorendo il passaggio selettivo di particelle di differenti dimensioni attraverso meccanismi reversibili di deformazione.

La ricerca si articolerà in quattro fasi principali:

1. Studio dello stato dell'arte, con particolare attenzione alle tecnologie di produzione delle membrane porose, e ai fenomeni di instabilità di flusso nei film polimerici sottili.
2. Sviluppo del processo di produzione, mediante schiumatura fisica di film termoplastici elastici e riciclabili, analizzando l'influenza dei parametri di processo sulla formazione delle instabilità e sulla morfologia della porosità.
3. Caratterizzazione strutturale e funzionale delle membrane, correlando la geometria dei pori alle proprietà meccaniche, di permeabilità e di risposta sotto differenti condizioni operative, al fine di identificare configurazioni in grado di fornire funzionalità avanzate.
4. Valutazione della scalabilità industriale, esplorando l'integrazione della schiumatura fisica con processi continui roll-to-roll per la produzione sostenibile di membrane sottili ad elevata produttività e ridotto impatto ambientale.

L'obiettivo del progetto è sviluppare una piattaforma tecnologica per la produzione di membrane polimeriche porose funzionali, nelle quali la morfologia della porosità rappresenti un nuovo parametro progettuale per modulare le proprietà del materiale. Il controllo delle instabilità di flusso durante la schiumatura fisica consentirà di realizzare architetture porose complesse e tailor-made, aprendo nuove prospettive nello sviluppo di membrane adattive per la filtrazione e la microfluidica,

di superfici funzionali e di materiali avanzati per applicazioni ottiche e fotoniche. Grazie alla possibilità di integrare questa tecnologia con processi continui roll-to-roll, il progetto pone inoltre le basi per una produzione sostenibile, scalabile e facilmente trasferibile in ambito industriale.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Le attività saranno svolte presso i laboratori del DICMaPI, dotati delle attrezzature necessarie per la produzione di film polimerici, la schiumatura fisica mediante schiumatura fisica e la caratterizzazione morfologica, termica, meccanica e funzionale delle membrane ottenute. Il progetto potrà inoltre beneficiare di collaborazioni con gruppi di ricerca locali, esperti in simulazione fluidodinamica e instabilità di flusso. Inoltre sarà prevista l'interazione con gruppi di ricerca nazionali e internazionali attivi nei settori dell'ingegneria chimica, schiumatura dei polimeri, della microfluidica, delle membrane funzionali e della caratterizzazione avanzata di materiali.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo di ricerca di circa sei mesi, a partire dal secondo anno di dottorato, presso un centro di ricerca internazionale specializzato nella produzione e caratterizzazione di materiali cellulari funzionali come il gruppo del Prof. Patrick Lee dell'Università di Toronto, al fine di approfondire tecniche sperimentali avanzate e consolidare collaborazioni scientifiche internazionali.

ENG

Proponent: Prof. Ernesto Di Maio

Proposed research topic: Architected porous polymer membranes by flow-instability engineering

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering, Chemical Engineering

Summary of the research project (state of the art, short program of the planned activities and objectives)

Porous polymer membranes are widely employed in numerous fields, including filtration, separation, biomedical applications, sensing, and microfluidics. Their performance mainly depends on pore size, distribution, and density. Consequently, the technologies currently employed are aimed at producing structures with pores that are as regular and well-controlled as possible. However, this approach limits membranes to simple passive devices, whose functionality is determined exclusively by the static geometry of the porosity.

The present project proposes a paradigm shift in the development of porous membranes by introducing the concept of *"morphology-driven functional membranes"*, in which functionality arises not only from the presence of porosity but also from the design of pore morphology. From this perspective, pore shape becomes a new design parameter capable of imparting properties and functionalities that cannot be achieved with conventional membranes.

Recent studies have demonstrated that physical foaming is a promising technology for the production of thin polymer membranes with micro- and nanoscale porosity. Indeed, this technology can be adapted to produce porous structures in components having at least one characteristic dimension in the micro- or nanoscale, such as microparticles, fibers, or films. In particular, it has been observed that, during cell growth in thin films, flow instabilities may develop, generating pores with highly unconventional morphologies that go beyond the traditional circular geometry. In this context, flow instabilities should not be regarded as process defects but rather as a design tool capable of generating functional porous architectures.

Despite these initial observations, the mechanisms responsible for the formation of such structures, as well as the potential applications of these novel porous architectures, remain largely unexplored. Such geometries could, for example, enable the development of membranes capable of locally adapting pore opening as a function of fluid pressure, thereby promoting the selective transport of particles of different sizes through reversible deformation mechanisms.

The research will be structured into four main phases:

1. **State-of-the-art review**, with particular attention to porous membrane manufacturing technologies and flow instability phenomena.
2. **Development of the manufacturing process**, through the physical foaming of elastic and recyclable thermoplastic polymeric films, investigating the influence of processing parameters on the development of flow instabilities and on pore morphology.
3. **Structural and functional characterization of the membranes**, correlating pore geometry with mechanical properties, permeability, and response under different operating conditions, in order to identify configurations capable of providing advanced functionalities.
4. **Assessment of industrial scalability**, exploring the integration of physical foaming with continuous roll-to-roll processes for the sustainable production of thin membranes with high productivity and reduced environmental impact.

The objective of the project is to develop a technological platform for the production of functional porous polymer membranes, in which pore morphology represents a new design parameter for tailoring material properties. The control of flow instabilities during physical foaming will enable the fabrication of complex, tailor-made porous architectures, opening new perspectives for the development of adaptive membranes for filtration and microfluidics, functional surfaces, and advanced materials for optical and photonic applications. Furthermore, thanks to the possibility of integrating this technology with continuous roll-to-roll processes, the project will lay the foundations for sustainable, scalable, and readily transferable industrial production.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories, ...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also companies), potentially relevant to the proposed topic.

The research activities will be carried out at the laboratories of DICMaPI, which are equipped with the facilities required for polymer film production, physical foaming, and the morphological, thermal, mechanical, and functional characterization of the resulting membranes. The project will also benefit from collaborations with local research groups specializing in computational fluid dynamics and flow instabilities. Furthermore, interactions with national and international research groups active in the fields of chemical engineering, polymer foaming, functional membranes, and advanced materials characterization are proposed.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution,...)

A research period of approximately six months is planned, starting from the second year of the PhD program, at an international research center specialized in the production and characterization of functional cellular materials, such as the research group of Prof. Patrick Lee at the University of Toronto. This period will provide the opportunity to gain expertise in advanced experimental techniques and to strengthen international scientific collaborations.

18)Proponent: Ernesto Di Maio

Proposed research topic:Advanced graded polymer foams for thermal insulation

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering

Summary of the Research Project

State of the art

Polymer foams are key materials for thermal insulation in the building and construction sector, with a current global market estimated at **USD 31.2 billion**. Driven by increasingly stringent energy-efficiency regulations and the retrofitting of existing buildings, the market is expected to grow to **USD 46.7 billion by 2034** [1].

Nowadays, all polymer foams available on the market are *spatially uniform*, i.e., their local density is constant throughout the volume and equal to the average (macroscopic) density, defined as the ratio of the foam mass to its volume. The thermal insulation properties of uniform polymer foams depend mainly on such a value of average density, on their cell size, tortuosity of the polymeric cellular structure, and the nature of the gas enclosed within the cells [2]. Over the years, both industry and academia have focused on reducing the cell size (down to nanocellular foams), increasing tortuosity, using gases with the lowest possible thermal conductivity, and developing multi-material barrier coatings to prevent the low-conductivity gas from diffusing out of the foam and being replaced by air. Essentially, this is because the density of the foam, for a given application, cannot simply be reduced, as it is dictated by mechanical constraints (e.g., a maximum allowable creep during service or a minimum impact resistance).

Recently, advanced **graded polymer foams**, i.e., polymer foams with a *spatially varying density* (i.e., their local density is **not** constant throughout the volume) have been introduced due to the development of a novel graded gas foaming technology [3]. With the use of topology optimization, it has been demonstrated that graded foams can achieve the same mechanical performance of uniform counterparts while reducing the amount of material of more than 25% [4]: reducing the amount of material while maintaining mechanical performances lowers the average density and, consequently, offers the potential to significantly improve the thermal insulation performance.

Objective

The objective of the project is to **design, manufacture, and test advanced graded polymer foams for thermal insulation that maximize mechanical performance while minimizing heat transfer**.

Planned activities

- **Years 1–2:** Develop a density-map optimization tool capable of handling both mechanical and thermal objective functions for prescribed mechanical and thermal loading conditions. The tool will provide the optimized density map as its output.
- **Year 3:** Manufacture and experimentally test proof-of-concept graded polymer foams for thermal insulation designed using the optimization tool developed during Years 1–2, comparing the results with state-of-the-art uniform foams to finally quantify the benefits of the proposed design methodology.

References

- [1] Global Market Insights, “Foam insulation Market Size & Share 2025 – 2034”, Report ID: GMI7655, December 2024, URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/foam-insulation-market> (last visit: July 19th).
- [2] Shekari, Maryam, et al. "Flexible Polymer Foams in Thermal Management Technologies: Recent Advances and Applications." *Polymer Engineering & Science* 65.10 (2025): 5033-5062.
- [3] Trofa, Marco, et al. "Multi-graded foams upon time-dependent exposition to blowing agent." *Chemical Engineering Journal* 362 (2019): 812-817.

[4] Iaccarino, Paolo, et al. "Topologically optimized graded foams." *Advanced Engineering Materials* 26.11 (2024): 2301798.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The computational design tool will be developed in collaboration with the Technical University of Munich (Germany), within the Numerical Mathematics group led by Prof. Barbara Wohlmuth, and with COMPMECH (Computational Mechanics Group) at the University of Pavia, led by Prof. Ferdinando Auricchio. Both research groups provide state-of-the-art computational facilities and numerical/analytical expertise for the development and validation of advanced design tools for polymer foams. The fabrication of advanced functionally graded polymer foams, together with uniform reference foams, will be carried out at foamlab, University of Naples Federico II, led by Prof. Ernesto Di Maio, where dedicated laboratories and equipment for polymer foam processing and characterization are available. For thermal insulation characterization and proof-of-concept applications, collaborations are established with C-Therm Technologies and Versalis S.p.A. (Dr. Dino Ferri), providing access to industrial expertise, advanced thermal characterization tools, and application-oriented testing. These collaborations ensure that the PhD student will have access to the computational, experimental, and industrial facilities required to carry out the proposed research.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A research stay of 6–9 months is planned at the Technical University of Munich (Germany), within the Numerical Mathematics group led by Prof. Barbara Wohlmuth. The mobility period is expected to take place during the second half of the second year of the PhD and will focus on the development and validation of the computational design tool in close collaboration with the host research group.

19)Proponente: Prof. Ernesto Di Maio - ITA

Tematica di ricerca proposta: Applicazione del processo di schiumatura fisica a sistemi alimentari liquidi: studio *in situ* dei meccanismi di nucleazione e stabilità delle bolle.
Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture, Ingegneria Chimica.

Sintesi del progetto di ricerca

Le schiume liquide alimentari (es. panna montata, mousse, gelato, meringa, birra, cappuccino e bevande gassate) stanno diventando sempre più diffuse nell'industria alimentare poiché la loro struttura complessa migliora la consistenza, la percezione palatale e il profilo nutrizionale senza richiedere l'uso di additivi. Essendo sistemi costituiti da una fase gassosa intrappolata all'interno di un mezzo liquido continuo, le schiume liquide sono intrinsecamente metastabili: evolvono costantemente sotto l'effetto di gravità, pressione capillare e diffusione molecolare. Di conseguenza, una parte consistente della ricerca scientifica si è concentrata sulla comprensione e sul miglioramento della stabilità delle schiume liquide. Le metodologie di produzione delle schiume liquide si basano su una varietà di processi meccanici, chimici e fisici per introdurre gas all'interno della matrice. Tradizionalmente, queste tecniche sfruttano i principi fondamentali della formazione delle bolle, come la nucleazione, l'allungamento e la frammentazione. Tuttavia, poiché questi metodi standard inducono un'elevata turbolenza, non riescono a fornire un ambiente controllato per investigare la formazione iniziale della schiuma in sistemi altamente instabili, lasciando un significativo gap nella letteratura scientifica. Per colmare questa lacuna, il presente progetto propone l'applicazione della schiumatura fisica (*physical foaming*), un processo tradizionalmente utilizzato nella produzione di schiume polimeriche, ai sistemi alimentari liquidi. A differenza dei metodi standard ad alta turbolenza, la schiumatura fisica sfrutta il principio termodinamico della separazione di fase indotta dalla pressione: saturando la fase liquida con un agente schiumante (gas) ad alta pressione e riducendo successivamente la pressione, il sistema viene forzato in uno stato di sovrassaturazione, innescando la nucleazione e la crescita di bolle. Pertanto, la schiumatura fisica fornisce una piattaforma ideale per studiare la dinamica di formazione delle bolle in tempo reale e in situ, offrendo una finestra chiara sui meccanismi di formazione e stabilità iniziale delle bolle, e suggerendo nuove strade per l'ottimizzazione di processo e di prodotto.

Il progetto sarà strutturato in quattro fasi principali:

- **Fase 1: Stato dell'arte.** Una revisione completa della letteratura focalizzata sulla termodinamica delle schiume liquide e sulle metodologie di schiumatura attualmente utilizzate nell'industria alimentare.
- **Fase 2: Progettazione dell'apparato sperimentale.** Progettazione di un'apparecchiatura di schiumatura fisica adattata e calibrata sui vincoli e sulle esigenze dei sistemi liquidi. Tecniche di caratterizzazione avanzata, tra cui la spettroscopia Raman on-line, saranno integrate nell'apparato per consentire il monitoraggio in situ e in tempo reale del sistema in evoluzione.
- **Fase 3: Indagine sui sistemi modello.** Una campagna sperimentale su sistemi modello semplificati a base acquosa (es. soluzioni acqua-tensioattivo/proteina) per disaccoppiare gli effetti dei parametri di processo (velocità di caduta della pressione, temperatura) dalle variabili di formulazione.
- **Fase 4: Transizione a sistemi alimentari complessi e ottimizzazione.** Applicazione del processo di schiumatura fisica ottimizzato a matrici alimentari reali, con l'obiettivo di migliorarne la stabilità e ottimizzare il processo.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori, ...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende)

potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando svolgerà la propria attività di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI), potendo usufruire di laboratori all'avanguardia e di una strumentazione avanzata per la produzione di schiume e la caratterizzazione multiscala dei materiali. In particolare, l'attività sperimentale si avvarrà di tecniche consolidate quali microscopia ottica, microscopia elettronica a scansione (SEM), micro-tomografia computerizzata (μ CT) e spettroscopia (FTIR e Raman). Inoltre, il progetto prevede una forte componente di innovazione tecnologica: il dottorando guiderà la progettazione e lo sviluppo *ex-novo* di un'apparecchiatura sperimentale dedicata.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca, ...)

È previsto un soggiorno di ricerca all'estero della durata di sei mesi nel corso del secondo anno di dottorato. Il periodo sarà svolto presso centri di rilievo nel settore della Food Science e della fisica dei sistemi colloidali, quali l'Università di Montpellier. L'attività di ricerca sarà finalizzata ad approfondire la comprensione termodinamica, strutturale e funzionale di sistemi alimentari complessi e multifasici, attraverso la collaborazione con ricercatori esperti del settore. In particolare, il soggiorno consentirà di sviluppare e caratterizzare sistemi modello ottimizzati, integrando competenze di ingegneria di processo con metodologie analitiche avanzate proprie della scienza degli alimenti. È inoltre prevista un'attività di collaborazione con aziende di riferimento del settore alimentare, in particolare con Nestlé (Losanna), al fine di favorire il trasferimento tecnologico e il confronto con problematiche di interesse industriale.

ENG

Proponent: Prof. Ernesto Di Maio

Proposed research topic: Physical foaming of liquid food systems: in situ investigation of bubble nucleation and stability mechanisms

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering, Chemical Engineering

Summary of the research project (state of the art, short program of the planned activities and objectives)

Edible liquid foams (e.g., whipped cream, mousse, ice cream, meringue, beer, cappuccino, and carbonated drink) are becoming increasingly popular in the food industry because their complex structure enhances textures, mouthfeel, and nutritional profiles without requiring additives. As dispersed systems consisting of a gaseous phase trapped within a continuous liquid medium, liquid foams are inherently metastable. They constantly evolve under the driving forces of gravity drainage, capillary pressure, and molecular diffusion (disproportionation). Consequently, substantial research has targeted the understanding and enhancement of liquid foam stability.

Liquid foaming methodologies are multifaceted, and rely on a variety of mechanical, chemical, and physical processes to introduce gas into the bulk liquid. Traditionally, these techniques leverage the fundamental principles of bubble formation, such as nucleation, elongation, and fragmentation.

However, because these standard methods induce high-turbulence, they fail to provide a controlled environment to investigate initial foam formation in highly unstable systems, leaving a significant gap in the literature.

To bridge this gap, this project proposes the application of physical foaming, a process traditionally utilized in the production of polymeric foams, to liquid food systems. Unlike standard high-turbulence methods, physical foaming leverages the thermodynamic principle of pressure-induced phase separation: by saturating the liquid phase with a blowing agent under high pressure and subsequently inducing a rapid pressure drop (depressurization), the system is forced into a supersaturated state, triggering the nucleation and growth of bubbles directly from the bulk. Therefore, physical foaming provides an ideal platform to investigate the dynamics of bubble formation in real-time and *in situ*. Isolating the effects of the pressure drop provides a clear window

into the mechanisms of bubble formation and early-stage stability, ultimately suggesting scalable routes for process and product optimization.

The project will be structured into four main phases:

- **Phase 1: State of the art.** A comprehensive literature review focused on the thermodynamics of liquid foams and a critical assessment of the foaming methodologies currently utilized in the food industry.
- **Phase 2: Experimental setup design.** Custom design of an adapted physical foaming apparatus tailored to the constraints and needs of liquid systems. Advanced characterization techniques, including on-line Raman Spectroscopy, will be integrated into the setup to enable *in situ*, real-time monitoring of phase behavior and gas saturation.
- **Phase 3: Investigation of model systems.** Systematic experimental campaign on simplified, water-based model systems (e.g., surfactant/protein-water solutions) to decouple the effects of process parameters (pressure drop rate, temperature) from formulation variables.
- **Phase 4: Transition to complex food systems and optimization.** Application of the optimized physical foaming process to actual food matrices, aiming at stability enhancement, and process optimization.

20) Proponent: Prof. Luca Esposito - ENG

Proposed research topic: Durability Assessment, Multiphysics Modeling, and Remaining Life Prediction of Ceramic Matrix Composites for Reusable Aerospace Thermal Protection Systems

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

The increasing deployment of reusable space vehicles and hypersonic platforms demands the development of structural materials capable of operating under extreme thermo-mechanical conditions while maintaining high performance over multiple operational cycles. In this context, Ceramic Matrix Composites (CMCs), and particularly C/C-SiC composites employed in Thermal Protection Systems (TPS), represent one of the most promising technological solutions due to their outstanding high-temperature resistance, low density, and excellent damage tolerance.

Despite significant advances in the design and manufacturing of these materials, their long-term structural reliability is still limited by an incomplete understanding of the degradation mechanisms governing their behavior throughout their service life. The simultaneous action of cyclic loading, elevated temperatures, time-dependent deformation mechanisms, thermal gradients, and stress concentrations at structural joints makes the prediction of the remaining service life of CMC components particularly challenging.

The aim of this PhD project is to develop an integrated experimental and numerical methodology for the characterization and long-term modeling of CMCs for aerospace applications. The research will include comprehensive mechanical characterization campaigns aimed at identifying the primary damage mechanisms affecting both the composite material and its structural joints.

In parallel, advanced finite element models will be developed to describe damage evolution, microcrack propagation, time-dependent material behavior, and the interaction between mechanical loading and thermal fields. The constitutive models will be calibrated using the experimental data and subsequently validated on representative thermal protection system components, with the objective of developing reliable predictive tools for remaining life assessment.

The outcomes of this research will contribute to a deeper understanding of the degradation mechanisms governing ceramic matrix composites and to the development of advanced virtual engineering methodologies capable of reducing the time and cost of experimental qualification campaigns while improving the reliability, safety, and durability of next-generation reusable aerospace structures.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD candidate will carry out the research activities at the Machine Design Laboratory (MaDe Lab) of the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMaPI), University of Naples Federico II, making use of its experimental facilities for the mechanical characterization of materials and its computational resources for finite element modeling and simulation. The research will be conducted in close collaboration with the Italian Aerospace Research Centre (CIRA), which will provide specialized expertise, advanced materials, and scientific support for both experimental and numerical activities, fostering technology transfer toward advanced aerospace applications.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

To define

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories, ...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD candidate will conduct their research activities at the Department of Chemical, Materials, and Industrial Production Engineering (DICMAP), benefitting from laboratories and advanced instrumentation for foam production and multiscale materials characterization. Specifically, the experimental activity will leverage consolidated techniques such as optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), micro-computed tomography (μ CT), and spectroscopy (FTIR and Raman). Furthermore, the project features a strong technological innovation component: the PhD candidate will lead the *ex-novo* design and development of a dedicated experimental apparatus.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution,...)

A six-month research stay abroad is planned during the second year of the PhD programme. The stay will take place at leading institutions in the fields of Food Science and the physics of colloidal systems, such as the University of Montpellier. The research activity will focus on advancing the thermodynamic, structural, and functional understanding of complex multiphase food systems through collaboration with internationally recognized experts in the field. In particular, the research stay will enable the development and characterization of optimized model systems by integrating process engineering expertise with advanced analytical methodologies in food science. In addition, collaboration with leading companies in the food industry, particularly Nestlé (Lausanne), is envisaged to promote technology transfer and address research challenges of industrial relevance.

ITA

Proponente: Prof. Luca Esposito

Tematica di ricerca proposta: Durabilità, modellazione multifisica e previsione della vita residua di compositi a matrice ceramica per sistemi di protezione termica aerospaziali riutilizzabili

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

La crescente diffusione di veicoli spaziali riutilizzabili e di piattaforme ipersoniche rende necessario lo sviluppo di materiali strutturali capaci di operare in condizioni termo-meccaniche estreme mantenendo elevate prestazioni per numerosi cicli operativi. In questo contesto, i compositi a matrice ceramica (Ceramic Matrix Composites, CMC), e in particolare i materiali C/C-SiC destinati ai sistemi di protezione termica (Thermal Protection Systems, TPS), rappresentano una delle soluzioni tecnologiche più promettenti grazie alla loro elevata resistenza alle alte temperature, al ridotto peso specifico e all'elevata tolleranza al danno.

Nonostante i notevoli progressi nella progettazione e nella produzione di tali materiali, la loro affidabilità nel lungo periodo è ancora limitata dalla conoscenza incompleta dei fenomeni di degrado che governano la risposta strutturale durante l'intera vita operativa. La presenza simultanea di carichi ciclici, elevate temperature, fenomeni viscosi, gradienti termici e concentrazioni di tensione in corrispondenza delle giunzioni rende infatti estremamente complessa la previsione della vita residua dei componenti.

L'obiettivo del progetto di dottorato è sviluppare una metodologia integrata, sperimentale e numerica, per la caratterizzazione e la modellazione del comportamento a lungo termine dei

compositi CMC destinati ad applicazioni aerospaziali. L'attività comprenderà campagne sperimentali di caratterizzazione meccanica, finalizzate all'identificazione dei principali meccanismi di danneggiamento del materiale e delle giunzioni strutturali.

Parallelamente saranno sviluppati modelli numerici avanzati basati sul metodo degli elementi finiti per descrivere l'evoluzione del danno, la propagazione delle microcricche, i fenomeni viscosi e l'interazione tra comportamento meccanico e campo termico. I modelli costitutivi saranno calibrati mediante i dati sperimentali e successivamente validati su componenti rappresentativi dei sistemi di protezione termica, al fine di sviluppare strumenti previsionali affidabili per la stima della vita utile residua.

I risultati della ricerca contribuiranno alla comprensione dei meccanismi di degrado dei compositi a matrice ceramica e allo sviluppo di metodologie di progettazione virtuale in grado di ridurre tempi e costi delle campagne sperimentali, aumentando l'affidabilità e la sicurezza delle future strutture aerospaziali ad alte prestazioni.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando svolgerà la propria attività presso il Laboratorio MaDe (Machine Design Laboratory) del DICMaPI dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, utilizzando le infrastrutture sperimentali per la caratterizzazione meccanica dei materiali e le risorse informatiche per la modellazione numerica mediante elementi finiti. L'attività sarà sviluppata in stretta collaborazione con il Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA), che fornirà competenze specialistiche, materiali e supporto scientifico nelle attività sperimentali e numeriche, favorendo il trasferimento tecnologico verso applicazioni aerospaziali avanzate.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il d-ITAottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Da definire

21) Proponent: Giovanni Filippone - ENG

Proposed research topic: Multi-objective metrics for the selection and design of sustainable materials

Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

Material selection is a crucial step in Materials Engineering, as it directly affects the performance, durability, cost and environmental impact of components, products and processes. Traditionally, the choice of a material has been driven by specific performance requirements, such as stiffness, strength, toughness, lightness, thermal stability or processability. However, the transition towards more sustainable production models now requires these requirements to be integrated with environmental, energy-related and circularity criteria, moving beyond approaches based on the simple replacement of one material with another that appears to be more “green”.

This PhD project aims to develop multi-objective metrics for the selection and design of sustainable materials, with particular attention to the definition of quantitative merit criteria able to compare different materials, formulations or technological solutions on a coherent and comparable basis. The starting point is that a material cannot be judged as better in absolute terms, but only with respect to a specific function, defined application constraints and an explicit set of performance and environmental objectives. In this perspective, the concept of a merit criterion is extended from conventional application-driven material selection towards a simultaneously application- and sustainability-driven approach.

The work will focus on the development of indicators combining mechanical, physical and functional properties with sustainability-related parameters, such as renewable or recycled feedstock content, embodied energy, carbon footprint, recyclability, durability, repairability, service life and end-of-life scenarios. Particular attention will be paid to property normalization and to the definition of performance-equivalent comparisons, in order to avoid misleading assessments. For example, a material with lower environmental impact but poorer properties may require a larger amount of material to perform the same function; similarly, a more durable material may be preferable even if its initial environmental burden is higher.

The project will include both a methodological and an applicative part. The methodological part will be devoted to the formalization of the metrics, the selection of relevant quantities and the development of multi-objective comparison criteria. The applicative part will address case studies in the field of polymeric, composite and/or recycled materials, possibly with reference to systems developed for the manufacturing industry. The proposed metrics may be integrated with life cycle assessment, experimental data, predictive models and graphical representation tools to support rational decision-making in materials design.

The final objective is to provide a quantitative framework capable of guiding research and development towards genuinely sustainable material solutions, avoiding partial evaluations based on single properties or on environmental indicators disconnected from the intended function. The project therefore aims to train a researcher able to work at the interface between materials science, engineering design and sustainability, with skills relevant both to academic research and to technology transfer towards industry.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD student will have access to the laboratories of the PolyFun research group, led by the proposer, which are equipped for the design, processing and characterization of polymeric materials and, more broadly, of functional materials, composites and formulated systems. The available facilities support material preparation and processing, mechanical, thermal, rheological,

morphological and functional characterization, as well as advanced experimental data processing, modelling, statistical analysis and graphical representation of material properties.

For sustainability-related activities, dedicated software tools for assessing the environmental impact of materials and processes through a Life Cycle Assessment, LCA, approach are already available. These tools will allow the integration of experimental data, process inventories and environmental indicators into the multi-objective metrics developed within the project, supporting quantitative comparisons among different material solutions on coherent and performance-equivalent bases.

The proposed topic is intentionally broad and transversal. It does not require the preliminary identification of a specific material, research group or industrial partner, but aims to develop a methodological approach applicable to different areas of Materials Engineering, including polymeric materials, composites, recycled materials, bio-based systems and materials for manufacturing applications.

The proposer's ongoing collaborations with companies and research centres, particularly with CNR, will support the generalization of the proposed approach to case studies of real industrial and academic interest. In this perspective, collaborations may be developed with companies active in polymeric materials, manufacturing, packaging and industrial sustainability, including LyondellBasell, Pirelli and packaging companies, as well as with national and international research institutions and groups consistent with the objectives of the project.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The broad and transversal nature of the project allows the foreign partner to be identified not necessarily at the preliminary stage, but at a more mature phase of the PhD, when the methodological approach, the developed metrics and the possible applicative case studies will be more clearly defined. Between the eighteenth and twenty-fourth month, a high-profile European partner will therefore be selected, consistently with the evolution of the project and with the aim of providing the PhD student with a training environment complementary to that of the proposing research group.

The research period abroad, expected to last approximately six months, is considered by the proposer as a necessary and qualifying component of the PhD training path. It will allow the PhD student to compare the developed multi-objective metrics with expertise, approaches and case studies available in an international context, supporting the generalization of the method to real problems in sustainable material selection and design.

The identification of the partner may rely on the proposer's international network and on existing or potentially activable scientific collaborations with European groups of recognized standing in Materials Engineering, polymeric materials, sustainability and advanced material design. Depending on the scientific consistency with the project, possible host institutions may include TU Eindhoven, Imperial College London or POLYMAT, as well as other high-profile European research groups.

ITA

Proponente: Giovanni Filippone

Tematica di ricerca proposta: Metriche multi-obiettivo nella selezione e progettazione di materiali sostenibili

Curriculum di riferimento: X Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

La selezione dei materiali rappresenta una fase cruciale dell'Ingegneria dei Materiali, poiché condiziona in modo diretto le prestazioni, la durabilità, il costo e l'impatto ambientale di componenti, prodotti e processi. Tradizionalmente, la scelta di un materiale è stata guidata da

requisiti prestazionali specifici, quali rigidezza, resistenza, tenacità, leggerezza, stabilità termica o processabilità. Tuttavia, la transizione verso modelli produttivi più sostenibili impone oggi di integrare tali requisiti con criteri ambientali, energetici e di circolarità, superando approcci basati sulla semplice sostituzione di un materiale con un altro apparentemente più “green”.

Il progetto di dottorato si propone di sviluppare metriche multi-obiettivo per la selezione e la progettazione di materiali sostenibili, con particolare attenzione alla definizione di criteri quantitativi di merito capaci di confrontare materiali, formulazioni o soluzioni tecnologiche diverse su basi coerenti e comparabili. L’idea di partenza è che un materiale non possa essere giudicato migliore in senso assoluto, ma solo rispetto a una specifica funzione, a determinati vincoli applicativi e a un insieme esplicito di obiettivi prestazionali e ambientali. In questa prospettiva, il concetto di criterio di merito viene esteso dalla classica selezione application-driven verso una selezione simultaneamente application- e sustainability-driven.

Il lavoro riguarderà la costruzione di indicatori che combinino proprietà meccaniche, fisiche e funzionali con parametri legati alla sostenibilità, quali contenuto di materia prima rinnovabile o riciclata, energia incorporata, impronta di carbonio, riciclabilità, durabilità, riparabilità, vita utile e scenari di fine vita. Particolare attenzione sarà dedicata alla normalizzazione delle proprietà e alla definizione di confronti prestazione-equivalenti, in modo da evitare valutazioni fuorvianti. Ad esempio, un materiale a minore impatto ambientale ma con prestazioni inferiori può richiedere una maggiore quantità di materia per svolgere la stessa funzione; analogamente, un materiale più durevole può risultare preferibile anche se inizialmente più impattante.

Il progetto prevede una parte metodologica e una parte applicativa. La prima sarà dedicata alla formalizzazione delle metriche, alla scelta delle grandezze rilevanti e allo sviluppo di criteri di confronto multi-obiettivo. La seconda riguarderà casi studio nell’ambito dei materiali polimerici, compositi e/o riciclati, con possibile riferimento a sistemi sviluppati per l’industria manifatturiera. Le metriche proposte potranno essere integrate con analisi del ciclo di vita, dati sperimentali, modelli predittivi e strumenti di rappresentazione grafica per supportare decisioni razionali nella progettazione dei materiali.

L’obiettivo finale è fornire un quadro quantitativo che consenta di orientare la ricerca e lo sviluppo di materiali verso soluzioni realmente sostenibili, evitando valutazioni parziali basate su singole proprietà o su indicatori ambientali non collegati alla funzione d’uso. Il progetto mira quindi a formare una figura capace di operare all’interfaccia tra scienza dei materiali, progettazione ingegneristica e sostenibilità, con competenze utili sia alla ricerca accademica sia al trasferimento tecnologico verso l’industria.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell’attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando avrà accesso ai laboratori del gruppo di ricerca PolyFun, di cui il proponente è leader, attrezzati per il design, il processing e la caratterizzazione di materiali polimerici e, più in generale, di materiali funzionali, compositi e sistemi formulati. Le dotazioni disponibili consentono attività di preparazione e trasformazione dei materiali, caratterizzazioni meccaniche, termiche, reologiche, morfologiche e funzionali, oltre all’elaborazione avanzata dei dati sperimentali, alla modellazione, all’analisi statistica e alla rappresentazione grafica delle proprietà.

Per gli aspetti di sostenibilità, sono già disponibili software dedicati alla valutazione dell’impatto ambientale dei materiali e dei processi mediante approccio Life Cycle Assessment, LCA. Tali strumenti consentiranno di integrare dati sperimentali, inventari di processo e indicatori ambientali nella costruzione delle metriche multi-obiettivo previste dal progetto, favorendo confronti quantitativi tra soluzioni materiali diverse su basi coerenti e prestazione-equivalenti.

La tematica proposta è volutamente ampia e trasversale: non richiede l’individuazione preliminare di uno specifico materiale, gruppo di ricerca o partner industriale, ma mira a sviluppare un

approccio metodologico applicabile a diversi ambiti dell'Ingegneria dei Materiali, inclusi materiali polimerici, compositi, riciclati, bio-based e sistemi per applicazioni manifatturiere.

Le continue collaborazioni del proponente con aziende e centri di ricerca, in particolare con il CNR, saranno funzionali alla generalizzazione dell'approccio proposto a casi studio di interesse reale, sia industriale sia accademico. In tale prospettiva, potranno essere valorizzate collaborazioni con aziende dei settori dei materiali polimerici, della manifattura, del packaging e della sostenibilità industriale, tra cui LyondellBasell, Pirelli e aziende attive nel packaging, nonché con enti e gruppi di ricerca nazionali e internazionali coerenti con gli obiettivi del progetto.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

La generalità e trasversalità del progetto consentono di individuare il partner estero non necessariamente in fase preliminare, ma in una fase più matura del percorso dottorale, quando saranno meglio definiti l'approccio metodologico, le metriche sviluppate e i possibili casi studio applicativi. Tra il diciottesimo e il ventiquattresimo mese sarà quindi identificato un partner europeo di elevato profilo scientifico, coerente con l'evoluzione del progetto e capace di offrire al dottorando un contesto formativo complementare rispetto a quello del gruppo proponente.

Il periodo all'estero, della durata indicativa di sei mesi, è ritenuto dal proponente una componente necessaria e qualificante del percorso di dottorato. Esso permetterà al dottorando di confrontare le metriche multi-obiettivo sviluppate con competenze, approcci e casi studio presenti in un contesto internazionale, favorendo la generalizzazione del metodo a problemi reali di selezione e progettazione sostenibile dei materiali.

L'individuazione del partner potrà avvalersi del network internazionale del proponente e delle collaborazioni scientifiche già attive o potenzialmente attivabili con gruppi europei di riconosciuta qualificazione nell'ambito dell'Ingegneria dei Materiali, dei materiali polimerici, della sostenibilità e della progettazione di materiali avanzati. Tra le possibili sedi potranno essere considerate, in funzione della coerenza scientifica con il progetto, istituzioni quali TU Eindhoven, Imperial College London o POLYMAT, oltre ad altri gruppi europei di elevato profilo.

22) Proponent: Prof. Ing. Mosè Gallo Prof. Ing. Andrea Grassi – ENG

Proposed research topic: Supply Chain Coordination under conditions of information asymmetry: from the actors' decisions to their repercussions on individual production units

Reference curriculum: Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project

The project aims to improve the coordination of activities within the extended production system, also referred to as the Supply Chain, seeking to reduce the information asymmetry among the various actors. At the core of the project proposal lies the concept of "credibility" of the decisions taken and of the information shared: the latter reflects the actual reality of each actor, and its sharing or concealment directly affects the effectiveness of coordination.

Coordination is analysed from a dynamic perspective, considering both the evolution of decisions along the Supply Chain and their short-term effects on individual production units. In this way, the project intends to connect the choices made at the supply-chain level with the immediate operational repercussions they generate in the individual plants.

State of the Art

Globalised Supply Chains operate in increasingly dynamic contexts and with an enhanced awareness to sustainability issues (Gallo et al, 2019), where demand variability, customisation and geopolitical shocks — tariffs, trade barriers, nearshoring, supplier diversification — heighten decision-making uncertainty (Grossman et al., 2023; Bednarski et al., 2025). Information sharing can improve supply-chain coordination, but the benefits depend on the actors' incentives and on the reliability of the shared information (Lee et al., 2000; Li & Zhang, 2008; Salatiello et al., 2026). Coordination models, including contract-based ones, prioritise the alignment of the chain's objectives while assuming that information is available and reliable (Cachon & Lariviere, 2005; Papa et al., 2025). It therefore remains open whether a decision advantageous for the whole chain is credible and sustainable for the individual plant, given local capacity, workloads, inventories and constraints.

Research Programme

The project is structured in four phases:

1. Analysis of the literature on information asymmetry, actors' credibility and coordination mechanisms in dynamic operational contexts;
2. Development of new coordination models and algorithms in which the shared information is treated as a reflection of the operational reality of the individual plants, assessing the credibility of the decisions in cooperative and non-cooperative scenarios;
3. Validation through simulation and experimentation, in order to verify its effectiveness in improving overall performance without compromising the operational feasibility of the individual nodes;
4. Dissemination of the results through publications and conferences. The construction and validation of the models will make use of advanced models, optimisation and simulation techniques and, where appropriate, artificial intelligence approaches.

Objectives

The project aims to:

- Reduce information asymmetry through mechanisms that incentivise the sharing of credible information consistent with the actors' real operations, maximising the benefits of the entire supply chain;
- Strengthen the credibility of coordination decisions, ensuring their operational sustainability within the individual production units;
- Improve the adaptability and resilience of the Supply Chain to market changes and to disruptions — an objective made crucial by the current geopolitical context (tariffs, trade barriers, reconfiguration of chains through nearshoring and supplier diversification), which

particularly exposes SMEs, being more vulnerable to external shocks and to information asymmetry;

- Generate knowledge that is generalisable to different Supply Chain contexts, for a more efficient, transparent and competitive management of the supply chain.

Laboratories and Equipment

Virtual simulation laboratories will be employed for conducting experiments in a controlled, replicable and scientifically verifiable environment. Such tools are fundamental for the analysis and verification of Supply Chain models in scenarios characterised by different operational conditions, also allowing the effectiveness of the proposed new coordination mechanisms to be assessed.

Software and Platforms

- The integrated development environment Visual Studio will be employed for programming activities in Python, offering tools for writing, debugging, testing and validating the code. This platform will be used for the development of algorithms aimed at analysing the collected data and at programming models capable of representing the dynamic interactions among the various actors of the Supply Chain.
- The software AnyLogic and AnyLogistix will be used for the advanced modelling and simulation of complex systems, with particular reference to logistics processes and Supply Chain dynamics. AnyLogic, thanks to the support of Java programming, allows a high degree of customisation of the simulation scenarios, making it possible to adapt the models to the specific project needs and to the objectives of the analysis.

Summary information on any period abroad envisaged for the PhD candidate

A research period abroad of approximately 3 months is envisaged, tentatively placed between the second half of the second year and the beginning of the third year of the doctorate, once the methodological framework has been consolidated and the first models developed, so as to maximise the value of the scientific exchange and to initiate validation in an international context.

The stay will be oriented towards a research group active in the themes of supply chain coordination and operations management, with expertise in the modelling, optimisation and simulation of production and logistics systems. In particular, the period abroad will be at the Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology, Poznan, Poland, in the research group coordinated by Prof. Gerhard-Wilhelm Weber, in order to explore aspects of interest to the project relating to Game Theory (<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55634220900>).

The period abroad would make it possible to compare the developed models with complementary approaches and tools, to access specialist expertise on the analysis of the operational repercussions of coordination, and to strengthen the dissemination of the results through joint collaborations and publications. The period, location and hosting group are to be understood as indicative and will be defined in agreement with the faculty board and the tutor.

Riferimenti Bibliografici

- Bednarski, L., Roscoe, S., Blome, C., & Schleper, M. C. (2025). Geopolitical disruptions in global supply chains: a state-of-the-art literature review. *Production planning & control*, 36(4), 536-562.
- Cachon, G. P., & Lariviere, M. A. (2005). Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. *Management science*, 51(1), 30-44.
- Castellano, D., Gallo, M., Grassi, A., & Santillo, L. C. (2019). The effect of GHG emissions on production, inventory replenishment and routing decisions in a single vendor-multiple buyers supply chain. *International journal of production economics*, 218, 30-42.
- Grossman, G. M., Helpman, E., & Lhuillier, H. (2023). Supply chain resilience: Should policy promote international diversification or reshoring?. *Journal of Political Economy*, 131(12), 3462-3496.

- Lee, H. L., So, K. C., & Tang, C. S. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management science*, 46(5), 626-643.
- Li, L., & Zhang, H. (2008). Confidentiality and information sharing in supply chain coordination. *Management science*, 54(8), 1467-1481.
- Papa, F., Salatiello, E., Grassi, A., & Vespoli, S. (2025). Dynamic Lead-Time Contract Model under Information Asymmetry for Reshoring Strategies and Supply Chain Coordination. *IFAC-PapersOnLine*, 59(10), 2712-2717.
- Salatiello, E., Vespoli, S., Grassi, A., & Guizzi, G. (2026). An Innovative Hybrid Architecture to overcome misreporting in Supply Chain Coordination under Information Asymmetry. *Manufacturing Letters*.

ITA

Proponente: Prof. Ing. Mosè Gallo Prof. Ing. Andrea Grassi

Tematica di ricerca proposta: Coordinamento della Supply Chain in situazioni di asimmetria informativa: dalle decisioni degli attori alle loro ricadute sulle singole realtà produttive

Curriculum di riferimento: Tecnologie e Sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca

Il progetto mira a migliorare il coordinamento delle attività nell'ambito del sistema produttivo esteso (Supply Chain) cercando di ridurre l'asimmetria informativa tra i diversi attori. Al centro della proposta progettuale vi è il concetto di "credibilità" delle decisioni assunte e delle informazioni condivise: queste ultime riflettono l'effettiva realtà di ciascun attore, e la loro condivisione o il loro occultamento incide direttamente sull'efficacia del coordinamento.

Il coordinamento viene analizzato in una prospettiva dinamica, considerando sia l'evoluzione delle decisioni lungo la Supply Chain sia i loro effetti di breve periodo sulle singole realtà produttive. In questo modo, il progetto intende collegare le scelte assunte a livello di filiera con le ricadute operative immediate che esse generano nei singoli stabilimenti.

Stato dell'Arte

Le Supply Chain globalizzate operano in contesti sempre più dinamici e con accresciuta sensibilità ad aspetti di sostenibilità (Gallo et al., 2019), dove variabilità della domanda, personalizzazione e shock geopolitici — dazi, barriere commerciali, nearshoring, diversificazione dei fornitori — accrescono l'incertezza decisionale (Grossman et al., 2023; Bednarski et al., 2025). La condivisione delle informazioni può migliorare il coordinamento di filiera, ma i benefici dipendono dagli incentivi degli attori e dall'affidabilità dell'informazione condivisa (Lee et al., 2000; Li & Zhang, 2008; Salatiello et al., 2026). I modelli di coordinamento, inclusi quelli contrattuali, privilegiano l'allineamento degli obiettivi della catena assumendo informazioni disponibili e attendibili (Cachon & Lariviere, 2005; Papa et al., 2025). Resta quindi aperto se una decisione conveniente per l'intera filiera sia credibile e sostenibile per il singolo stabilimento, date capacità, carichi, scorte e vincoli locali.

Programma di Ricerca

Il progetto si articola in quattro fasi:

1. Analisi della letteratura su asimmetria informativa, credibilità degli attori e meccanismi di coordinamento in contesti operativi dinamici;
2. Sviluppo di nuovi modelli di coordinamento e algoritmi in cui le informazioni condivise siano trattate come riflesso della realtà operativa dei singoli stabilimenti, valutando la credibilità delle decisioni in scenari cooperativi e non;
3. Validazione tramite simulazione e sperimentazione, per verificarne l'efficacia nel migliorare le performance complessive senza compromettere la fattibilità operativa dei singoli nodi;
4. Disseminazione dei risultati mediante pubblicazioni e conferenze. La costruzione e la validazione dei modelli si avvarranno di modelli avanzati, tecniche di ottimizzazione e

simulazione e, ove opportuno, di approcci di intelligenza artificiale.

Obiettivi

Il progetto mira a:

- Ridurre l'asimmetria informativa attraverso meccanismi che incentivino la condivisione di informazioni credibili e coerenti con la reale operatività degli attori massimizzando i benefici dell'intera filiera;
- Rafforzare la credibilità delle decisioni di coordinamento, assicurandone la sostenibilità operativa nelle singole realtà produttive;
- Migliorare la capacità di adattamento e la resilienza della Supply Chain ai cambiamenti del mercato e alle disruptions — obiettivo reso cruciale dall'attuale contesto geopolitico (dazi, barriere commerciali, riconfigurazione delle catene tramite *nearshoring* e diversificazione dei fornitori), che espone in particolare le PMI, più vulnerabili agli shock esterni e all'asimmetria informativa;
- Generare conoscenze generalizzabili a diversi contesti di Supply Chain, per una gestione più efficiente, trasparente e competitiva della catena di fornitura.

Laboratori e Strumentazioni

Saranno impiegati laboratori virtuali di simulazione per la conduzione di esperimenti in un ambiente controllato, replicabile e scientificamente validabile. Tali strumenti risultano fondamentali per l'analisi e la verifica dei modelli di Supply Chain in scenari caratterizzati da differenti condizioni operative, consentendo inoltre di valutare l'efficacia dei nuovi meccanismi di coordinamento proposti.

Software e Piattaforme

- L'ambiente di sviluppo integrato *Visual Studio* sarà impiegato per attività di programmazione in *Python*, offrendo strumenti per la scrittura, il debug, il testing e la validazione del codice. Tale piattaforma sarà utilizzata per lo sviluppo di algoritmi finalizzati all'analisi dei dati raccolti e alla programmazione di modelli in grado di rappresentare le interazioni dinamiche tra i diversi attori della Supply Chain.
- I software *AnyLogic* e *AnyLogistix* saranno utilizzati per la modellazione e la simulazione avanzata di sistemi complessi, con particolare riferimento ai processi logistici e alle dinamiche della Supply Chain. *AnyLogic*, grazie al supporto della programmazione in *Java*, consente un'elevata personalizzazione degli scenari simulativi, permettendo di adattare i modelli alle specifiche esigenze progettuali e agli obiettivi dell'analisi.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando

È previsto un periodo di ricerca all'estero della durata di circa 3 mesi, collocato indicativamente tra la seconda metà del secondo anno e l'inizio del terzo anno di dottorato, una volta consolidato l'impianto metodologico e sviluppati i primi modelli, così da massimizzare il valore dello scambio scientifico e avviare la validazione in un contesto internazionale.

Il soggiorno sarà orientato verso un gruppo di ricerca attivo nei temi del *supply chain coordination* e dell'*operations management*, con competenze su modellazione, ottimizzazione e simulazione di sistemi produttivi e logistici. In particolare, il periodo all'estero sarà presso *Faculty of Engineering Management, Poznan University of Technology, Poznan, Poland* nel gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Gerhard-Wilhelm Weber per approfondire aspetti di interesse per il progetto relativi alla *Game Theory* (<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55634220900>).

Il periodo all'estero permetterebbe di confrontare i modelli sviluppati con approcci e strumenti complementari, di accedere a competenze specialistiche sull'analisi delle ripercussioni operative del coordinamento e di rafforzare la disseminazione dei risultati attraverso collaborazioni e pubblicazioni congiunte. Periodo, sede e gruppo ospitante sono da intendersi indicativi e saranno definiti in accordo con il collegio dei docenti e il tutor.

Riferimenti Bibliografici

- Bednarski, L., Roscoe, S., Blome, C., & Schleper, M. C. (2025). Geopolitical disruptions in global supply chains: a state-of-the-art literature review. *Production planning & control*, 36(4), 536-562.
- Cachon, G. P., & Lariviere, M. A. (2005). Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. *Management science*, 51(1), 30-44.
- Castellano, D., Gallo, M., Grassi, A., & Santillo, L. C. (2019). The effect of GHG emissions on production, inventory replenishment and routing decisions in a single vendor-multiple buyers supply chain. *International journal of production economics*, 218, 30-42.
- Grossman, G. M., Helpman, E., & Lhuillier, H. (2023). Supply chain resilience: Should policy promote international diversification or reshoring?. *Journal of Political Economy*, 131(12), 3462-3496.
- Lee, H. L., So, K. C., & Tang, C. S. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management science*, 46(5), 626-643.
- Li, L., & Zhang, H. (2008). Confidentiality and information sharing in supply chain coordination. *Management science*, 54(8), 1467-1481.
- Papa, F., Salatiello, E., Grassi, A., & Vespoli, S. (2025). Dynamic Lead-Time Contract Model under Information Asymmetry for Reshoring Strategies and Supply Chain Coordination. *IFAC-PapersOnLine*, 59(10), 2712-2717.
- Salatiello, E., Vespoli, S., Grassi, A., & Guizzi, G. (2026). An Innovative Hybrid Architecture to overcome misreporting in Supply Chain Coordination under Information Asymmetry. *Manufacturing Letters*.

23) Proponent: Prof. Francesco Greco - ENG

Proposed research topic: Slow systems relaxation properties through an Applied Statistical Thermodynamics approach

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

The project focuses on the microscopic diffusion processes occurring in dynamically “slow and ultra-slow” systems (i.e. systems with very high relaxation times compared to standard molecular liquids), and on the influence of rare microscopic events (e.g. sudden long jumps by individual moieties in quasi-arrested environments) on the overall structural relaxation and macroscopic response of complex materials.

While standard diffusion is well-described by Gaussian statistics and Fickian behavior, the two main features of standard diffusion, many “soft” and disordered materials exhibit anomalous and/or non-Gaussian behaviour, characterized by heterogeneous dynamics and intermittent rare events. These deviations from the classical picture and standard modeling are crucial to understand the fundamental links between microscopic mobility and the rheological and thermodynamical properties of advanced materials of common use in industrial goods production.

Despite recent progress in both theory and experiments, many open questions remain regarding how the long-time relaxation of such slow systems ultimately determine material properties such as viscosity or non-newtonian behaviour, or thermal properties. This project aims to provide a deeper understanding of these connections using large-scale molecular dynamics simulations combined with advanced statistical and machine learning tools for data analysis.

The study will focus on “model systems” with distinct chemical and physical characteristics, but all of significant interest for modern technologies and applications, as for example:

1. Charged vesicle suspensions, which serve as a model for concentrated formulations such as liquid fabric softeners, where long-range electrostatic interactions and crowding effects lead to slow dynamics and complex relaxation behaviors;
2. Metallic glasses, where the lack of long-range order and strong interatomic interactions result in dynamic heterogeneities that are still poorly understood, yet critical for the mechanical performance and thermal properties;
3. Concentrated polymer suspensions, relevant for soft robotics and biomedical applications, where entanglement and crowding play a dominant role.

The research program will proceed along three main directions:

- **Computational modeling:** Molecular dynamics simulations will be carried out for each system, using realistic interaction potentials and system sizes large enough to capture rare events and spatial correlations.
- **Data analysis and theoretical interpretation:** The simulation data will be analyzed to extract single-particle displacement statistics, two- and four-point correlation functions, and non-Gaussian parameters. The aim is to quantify the degree of dynamical heterogeneity and relate it to macroscopic relaxation processes.
- **Experimental collaboration:** In collaboration with partner laboratories equipped for standard rheological and opto-rheological studies (e.g., combining dynamic light scattering (DLS) with rheometry), or with spectroscopic instrumentations, selected systems will also be studied experimentally. These measurements will help validate simulation results and provide a direct bridge between microscopic and macroscopic observables.

Ultimately, the goal is to advance our understanding of how microscopic rare events and heterogeneous dynamics control the macroscopic behavior of slow materials, with implications for the design and optimization of functional soft matter and disordered solids.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD student will have access to several operational and scientific facilities essential for the proposed research, which focuses on the study of microscopic dynamics of complex materials using molecular simulations and statistical mechanics methods. Computational resources include access to high-performance cluster computing facilities (mainly hosted at our university and in our research lab), enabling the large-scale and long-lasting molecular dynamics (MD) simulations that are necessary to effectively study the statistics of rare events.

Software tools such as LAMMPS and GROMACS will be employed for MD simulations, while Python programming language will be extensively used for data analysis, statistical modeling, and the application of machine learning techniques to simulation data. A possible experimental component is also foreseen, in collaboration with well-equipped partner laboratories, to investigate both classical rheology and opto-rheological properties of the materials of interest for this project. In particular, dynamic light scattering (DLS) coupled with rheological measurements may be employed to connect the microscopic dynamics (e.g. particle diffusion) with the macroscopic response of the system.

Part of this research will be possibly performed in collaboration with some partner laboratories of the DicMaPi, as for example:

- the RheoLab, dedicated to the rheological and dynamic characterization of materials;
- the Bottega della Materia Soffice, which provides an interdisciplinary environment focused on soft matter physics, offering both computational and experimental insights.

Moreover, the project will benefit from established collaborations with both academic and industrial partners, fostering interdisciplinary exchange and international exposure:

- Charles Coulomb Laboratory, University of Montpellier, France – providing expertise in theoretical, computational and experimental (opto-rheology) soft matter physics;
- Osaka University, Japan – for potential exchange opportunities and joint research on materials modeling;
- Procter & Gamble – an industrial partner interested in the multiscale modeling of complex fluids and soft materials, potentially contributing with real-world problems and validation cases. These collaborations ensure access to a broad range of expertise, tools, and datasets, enhancing the impact and scientific relevance of the proposed PhD project.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A research stay abroad is planned between the second and the beginning of the third year of the PhD program. The stay will be hosted by either the Charles Coulomb Laboratory at the University of Montpellier (France) or Osaka University (Japan), both internationally recognized for their expertise in soft matter physics and molecular simulations. The PhD student will integrate into active research groups working on topics closely related to the project, with the aim of deepening theoretical knowledge, accessing complementary simulation tools, and strengthening international collaboration. This period abroad will be instrumental for expanding the scientific scope of the project and for developing the student's academic network and research independence

ITA

Proponente: Prof. Francesco Greco

Tematica di ricerca proposta: Proprietà del rilassamento di sistemi lenti con approcci di Termodinamica Statistica Applicata

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica

Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

Il progetto è incentrato sui processi di diffusione microscopica che avvengono in sistemi dinamicamente “lenti e ultra-lenti” (cioè sistemi con tempi di rilassamento molto elevati rispetto ai liquidi molecolari standard), e sull’influenza di eventi microscopici rari (ad esempio salti improvvisi e lunghi compiuti da singole unità in ambienti quasi arrestati) sul rilassamento strutturale complessivo e sulla risposta macroscopica dei materiali complessi.

Mentre la diffusione standard è ben descritta dalla statistica gaussiana e da un comportamento fickiano - le due caratteristiche principali della diffusione normale - molti materiali “soffici” e disordinati mostrano comportamenti anomali e/o non gaussiani, caratterizzati da dinamiche eterogenee ed eventi rari intermittenti. Queste deviazioni rispetto al quadro classico e ai modelli tradizionali sono fondamentali per comprendere i legami tra mobilità microscopica e proprietà reologiche e termodinamiche di materiali avanzati di uso comune nell’industria.

Nonostante i recenti progressi sia teorici che sperimentali, molte domande restano aperte su come il rilassamento a lungo termine di questi sistemi lenti determini infine proprietà del materiale come la viscosità, il comportamento non newtoniano o le caratteristiche termiche. Il progetto mira a fornire una comprensione più profonda di questi legami attraverso simulazioni di dinamica molecolare su larga scala, combinate con strumenti avanzati di analisi statistica e tecniche di machine learning.

Lo studio si concentrerà su “sistemi modello”, con caratteristiche chimico-fisiche distinte ma tutti di rilevante interesse per tecnologie e applicazioni moderne, come ad esempio:

1. Sospensioni di vescicole cariche, modello per formulazioni concentrate come gli ammorbidenti liquidi, in cui interazioni elettrostatiche a lungo raggio e fenomeni di affollamento portano a dinamiche lente e comportamenti di rilassamento complessi;
2. Vetri metallici, in cui l’assenza di ordine a lungo raggio e le forti interazioni interatomiche generano eterogeneità dinamiche ancora poco comprese, ma cruciali per le proprietà meccaniche e termiche;
3. Sospensioni polimeriche concentrate, rilevanti per applicazioni nella soft robotics e in ambito biomedico, dove l’intreccio delle catene polimeriche e l’affollamento giocano un ruolo dominante.

Il programma di ricerca si svilupperà lungo tre direttrici principali:

- Modellizzazione computazionale: Verranno eseguite simulazioni di dinamica molecolare per ciascun sistema, utilizzando potenziali di interazione realistici e dimensioni di sistema sufficientemente grandi da catturare eventi rari e correlazioni spaziali;
- Analisi dei dati e interpretazione teorica: I dati simulati saranno analizzati per estrarre statistiche degli spostamenti delle singole particelle, funzioni di correlazione a due e quattro punti, e parametri di non-gaussianità. L’obiettivo è quantificare il grado di eterogeneità dinamica e metterlo in relazione con i processi di rilassamento macroscopici;
- Collaborazione sperimentale: In collaborazione con laboratori partner dotati di strumentazioni per studi reologici e opto-reologici (ad esempio, combinando lo scattering dinamico della luce (DLS) con la reometria), o di spettroscopia, alcuni sistemi selezionati saranno anche studiati sperimentalmente. Queste misure serviranno a validare i risultati delle simulazioni e a creare un collegamento diretto tra osservabili microscopiche e macroscopiche.

L’obiettivo finale è approfondire la comprensione di come gli eventi rari a livello microscopico e la dinamica eterogenea influenzino il comportamento macroscopico dei materiali lenti, con importanti implicazioni per la progettazione e l’ottimizzazione di materiali soffici funzionali e solidi disordinati.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell’attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando avrà accesso a numerose infrastrutture operative e scientifiche essenziali per la ricerca proposta, incentrata sullo studio della dinamica microscopica di materiali complessi tramite simulazioni molecolari e metodi della meccanica statistica. Le risorse computazionali includono l’accesso a sistemi di calcolo ad alte prestazioni (principalmente ospitati presso la nostra università e nel nostro laboratorio di ricerca), che permettono di effettuare simulazioni di dinamica molecolare

(MD) su larga scala e di lunga durata, necessarie per studiare efficacemente la statistica degli eventi rari.

Per le simulazioni MD verranno utilizzati software come LAMMPS e GROMACS, mentre il linguaggio di programmazione Python sarà ampiamente impiegato per l'analisi dei dati, la modellazione statistica e l'applicazione di tecniche di machine learning ai dati simulati. È inoltre prevista una possibile componente sperimentale, in collaborazione con laboratori partner ben attrezzati per indagare con metodi reologici classici e misure opto-reologiche i materiali di interesse. In particolare, l'impiego della tecnica di dynamic light scattering (DLS), combinata con misure reologiche, potrà permettere di collegare la dinamica microscopica (es. diffusione delle particelle) alla risposta macroscopica del sistema.

Parte di questa ricerca potrà essere svolta in collaborazione con alcuni laboratori partner del Dipartimento di Chimica, Materiali e Produzione Industriale (DicMaPi), ad esempio:

- RheoLab, dedicato alla caratterizzazione reologica e dinamica dei materiali;
- Bottega della Materia Soffice, un ambiente interdisciplinare focalizzato sulla fisica della materia soffice, che offre competenze sia computazionali che sperimentali.

Inoltre, il progetto beneficerà di collaborazioni già avviate con partner sia accademici che industriali, favorendo lo scambio interdisciplinare e la visibilità internazionale:

- Laboratorio Charles Coulomb, Università di Montpellier, Francia – per la loro esperienza nella fisica della materia soffice teorica, computazionale e sperimentale (opto-reologia);
- Università di Osaka, Giappone – per possibili opportunità di scambio e ricerca congiunta sulla modellazione dei materiali;
- Procter & Gamble – partner industriale interessato alla modellazione multiscala di fluidi complessi e materiali soffici, potenzialmente coinvolto con casi di studio reali e attività di validazione.

Queste collaborazioni garantiranno l'accesso a un'ampia gamma di competenze, strumenti e dataset, aumentando l'impatto e la rilevanza scientifica del progetto di dottorato proposto.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo di ricerca all'estero tra il secondo anno e l'inizio del terzo anno del dottorato. Il soggiorno si potrà svolgere presso il Laboratorio Charles Coulomb dell'Università di Montpellier (Francia) o presso l'Università di Osaka (Giappone), entrambe riconosciute a livello internazionale per la loro competenza nella fisica della materia soffice e nelle simulazioni molecolari. Il dottorando si integrerà in gruppi di ricerca attivi su tematiche strettamente connesse al progetto, con l'obiettivo di approfondire le conoscenze teoriche, accedere a strumenti di simulazione complementari e rafforzare la collaborazione internazionale. Questo periodo all'estero sarà fondamentale per ampliare l'orizzonte scientifico del progetto e per sviluppare la rete accademica e l'autonomia nella ricerca del dottorando.

24) Proponent: Stefano Guido**Proposed research topic: The Effect of Flow on the Processing and Purification of Biological Components - ENG****Reference curriculum: Chemical engineering****Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words**

The production of high-value biological components, such as proteins, vaccines, and monoclonal antibodies, relies on complex bioprocesses in which fluid flow plays a fundamental role. Throughout the entire manufacturing chain—from cell cultivation and fermentation to purification and formulation—hydrodynamic conditions and rheological properties govern mixing efficiency, mass and oxygen transfer, nutrient distribution, shear stresses, and transport phenomena that ultimately determine product yield, quality, and process robustness. Understanding and controlling these flow-induced effects is therefore essential for the development of scalable, efficient, and sustainable biomanufacturing technologies.

This project will focus on the characterization and optimization of hydrodynamic and rheological conditions within bioreactors and separation units, where flow patterns, mixing efficiency, oxygen transfer, nutrient transport, and shear stresses directly affect cellular behaviour and productivity. Different processing configurations and operating conditions will be investigated to identify flow regimes that maximize biomass growth while minimizing cell damage caused by excessive mechanical stresses. The influence of flow conditions on downstream operations, such as by membrane filtration, will be evaluated to improve recovery yields while preserving the structural integrity and biological activity of sensitive biomolecules. The integration of upstream and downstream operations into continuous manufacturing schemes will also be explored to enhance overall process efficiency.

Overall, the proposed research aims to establish a versatile chemical engineering platform in which fluid dynamics, transport phenomena, and bioengineering are jointly optimized to improve the production of biological components. The outcomes of the project are expected to provide fundamental insights into the relationship between flow conditions and biological performance, while contributing to the development of scalable, efficient, and sustainable production technologies.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD candidate will have access to advanced optical and confocal microscopy systems, rheo-optical tools, and filtration units. The project will benefit from established collaborations with leading academic institutions and industrial partners, providing access to complementary expertise, specialized facilities, and advanced technologies. These collaborations will promote interdisciplinary research, facilitate knowledge exchange, and enhance the scientific and technological impact of the proposed work while supporting its potential translation toward industrial and biomedical applications.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

During the PhD programme, the candidate will undertake a stay at an international research institution, where the scientific activity will be focussed on the investigation of flow behavior and transport phenomena in biological systems, with particular emphasis on the influence of

hydrodynamic conditions on bioprocess performance and the processing of biological components. The stay will provide the opportunity to collaborate with internationally recognized experts in multiscale modelling and biofluid mechanics, while gaining access to state-of-the-art computational and experimental facilities.

This international research experience will promote scientific exchange and interdisciplinary collaboration, enabling the integration of advanced modelling approaches with the experimental activities carried out at the home institution. The knowledge acquired during the mobility period will support the optimization of bioprocesses and purification technologies, contributing to a deeper understanding of the relationship between flow conditions, transport phenomena, and the quality and productivity of biological products. Overall, the research stay will represent a key component of the PhD programme, significantly enhancing the scientific impact of the project and fostering the candidate's professional development within an international research environment.

ITA

Proponente: Stefano Guido

Tematica di ricerca proposta: Effetti delle condizioni di flusso sulla produzione e sulla purificazione di componenti biologici

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

La produzione di componenti biologici ad alto valore aggiunto, quali proteine, vaccini e anticorpi monoclonali, si basa su complessi bioprocessi nei quali le condizioni di flusso rivestono un ruolo cruciale. Dalla coltivazione cellulare e fermentazione fino alla purificazione del prodotto finale, le condizioni idrodinamiche e le proprietà reologiche influenzano l'efficienza del mescolamento, il trasferimento di massa e di ossigeno, la distribuzione dei nutrienti, gli sforzi meccanici e, più in generale, i fenomeni di trasporto che determinano la resa del processo e la qualità del prodotto. Comprendere e controllare gli effetti indotti dal flusso rappresenta pertanto un requisito essenziale per lo sviluppo di tecnologie di bioproduzione scalabili, efficienti e sostenibili.

Il progetto sarà focalizzato sulla caratterizzazione e l'ottimizzazione delle condizioni idrodinamiche e reologiche all'interno di bioreattori e unità di separazione, ed i loro effetti sul comportamento cellulare e la produttività del processo. Saranno investigate diverse configurazioni e condizioni operative al fine di individuare i regimi di flusso in grado di massimizzare la crescita della biomassa e la produzione di componenti biologici, minimizzando al contempo i danni cellulari causati da eccessive sollecitazioni meccaniche. Il progetto analizzerà inoltre l'influenza delle condizioni di flusso sulle operazioni di downstream, con particolare riferimento ai processi di separazione mediante membrane, al fine di migliorare le rese di recupero preservando l'integrità strutturale e l'attività biologica dei prodotti. Sarà inoltre studiata l'integrazione delle operazioni di upstream e downstream in schemi di produzione continua, con l'obiettivo di incrementare l'efficienza complessiva del processo e favorire lo sviluppo di piattaforme produttive innovative.

Nel complesso, la ricerca proposta mira allo sviluppo di una piattaforma tecnologica avanzata di ingegneria chimica nella quale fluidodinamica, fenomeni di trasporto e bioingegneria siano integrati e ottimizzati congiuntamente per migliorare la produzione di componenti biologici. I risultati attesi forniranno una comprensione approfondita delle relazioni tra condizioni di flusso e condizioni biologiche, contribuendo allo sviluppo di tecnologie di produzione innovative, scalabili, efficienti e sostenibili.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando avrà accesso a sistemi avanzati di microscopia ottica e confocale, di reometria e di filtrazione da laboratorio. Il progetto beneficerà di consolidate collaborazioni con primarie istituzioni accademiche e partner industriali, che metteranno a disposizione competenze complementari, infrastrutture specializzate e tecnologie avanzate. Tali collaborazioni favoriranno lo sviluppo di attività di ricerca interdisciplinare, promuoveranno lo scambio di conoscenze e contribuiranno ad accrescere l'impatto scientifico e tecnologico del progetto, sostenendone al contempo il potenziale trasferimento verso applicazioni industriali e biomediche.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Durante il percorso di dottorato è previsto un soggiorno presso un'istituzione di ricerca internazionale, dove l'attività scientifica sarà focalizzata sullo studio del comportamento del flusso e dei fenomeni di trasporto in sistemi biologici, con particolare attenzione all'influenza delle condizioni idrodinamiche sui processi di produzione e purificazione di componenti biologici. Il soggiorno offrirà al dottorando l'opportunità di collaborare con esperti di riconosciuto prestigio internazionale nel campo della modellazione multiscala e della fluidodinamica dei sistemi biologici, nonché di accedere a infrastrutture sperimentali e computazionali all'avanguardia. Questa esperienza di ricerca internazionale favorirà lo scambio scientifico e la collaborazione interdisciplinare, consentendo l'integrazione di approcci avanzati di modellazione con le attività sperimentali svolte presso la sede di dottorato. Le competenze e le conoscenze acquisite durante il periodo di mobilità contribuiranno all'ottimizzazione dei bioprocessi e delle tecnologie di purificazione, permettendo una comprensione più approfondita delle relazioni tra condizioni di flusso, fenomeni di trasporto, qualità del prodotto e produttività del processo. Nel complesso, il soggiorno di ricerca costituirà un importante elemento del percorso di dottorato, rafforzando l'impatto scientifico del progetto e favorendo la crescita professionale del dottorando in un contesto di ricerca internazionale.

25)Proponent: Prof. Cosimo Ieracitano - ENG

Proposed research topic: explainable Artificial Intelligence and Fluid Electrohydrodynamics for Astronauts' Health Monitoring

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

This research project is funded by the Italian Space Agency (ASI) within the thematic area "Science from Moon and Mars: Human and Biological Science". The project aims to develop advanced methodologies for monitoring astronaut health during long-duration space missions, which are known to increase the risk of neurodegenerative processes associated with oxidative stress. The underlying hypothesis is that biochemical alterations induced by oxidative stress in biological fluids (e.g., interstitial fluid) can be reflected in measurable variations in their rheological properties, observable through electrohydrodynamic (EHD) phenomena.

Within this framework, the scientific objective is to develop an integrated pipeline combining: (i) experimental acquisition of data generated through EHD processes; (ii) Artificial Intelligence (AI)-based modeling; and (iii) model interpretation through explainable Artificial Intelligence (xAI), with the ultimate goal of identifying neurodegenerative conditions, such as Alzheimer's disease, by analyzing the deformation of biological fluids induced by electrohydrodynamic effects.

From a methodological perspective, the project integrates state-of-the-art deep learning techniques with explainable AI approaches to ensure not only high predictive and classification performance but

also transparency, interpretability, and reliability of the developed models.

The training programme will span three years and has been designed to support both the successful development of the research project and the acquisition of advanced interdisciplinary skills.

□ Year 1: Comprehensive review of the state of the art in electrohydrodynamics and Artificial Intelligence applied to space and biomedical research. In parallel, laboratory experiments will be conducted to investigate the deformation of synthetic biofluids under conditions designed to mimic neuropathological alterations associated with oxidative stress. During this phase, a dataset consisting of video sequences and/or one-dimensional signals will be generated, providing the foundation for the subsequent AI analyses.

□ Year 2: Development, training, and optimization of Artificial Intelligence models (e.g., Convolutional Neural Networks, Vision Transformers, and Transfer Learning approaches) for the identification and classification of physiological and pathological conditions.

□ Year 3: Development and implementation of explainable AI models for the interpretation of prediction results, assessment of model reliability, and validation of the proposed methodology.

Research progress will be regularly discussed during meetings with professors and researchers from the Bottega della Materia Soffice laboratory, as well as with biologists and clinicians whenever possible, fostering continuous multidisciplinary scientific collaboration.

Complementary training activities will include:

□ Participation in seminars, webinars, and summer schools organized by national and international scientific societies;

□ Development of collaborative research projects and internships with space-sector organizations and industries, including Thales Alenia Space and the European Space Agency (ESA);

□ Online training courses focused on the development of AI models using Python and MATLAB;

□ International mobility programmes aimed at conducting advanced research activities abroad;

□ Access to high-performance computing resources for training AI models and analyzing largescale and complex datasets.

The expected scientific outcomes include at least one contribution to an international conference

presenting the preliminary research results. In addition, the project is expected to produce at least one peer-reviewed journal article focused on the analysis of synthetic biofluids using deep learning and explainable AI methodologies.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD programme will be carried out at the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMaPI) of the University of Naples Federico II, within the PhD Programme in Industrial Product and Process Engineering. The research activities will be conducted in collaboration with professors and researchers from the "Bottega della Materia Soffice" (Soft Matter

Workshop) laboratories, which are equipped with advanced instrumentation for both biofluid characterization—including electrohydrodynamic (EHD) and pyro-electrohydrodynamic (pyro-EHD) experimental setups—and the development and implementation of Artificial Intelligence models.

The PhD programme also includes collaborations with leading national and international research institutions, including ISASI-CNR, the AILAB of the Mediterranean University of Reggio Calabria, the University of Arizona, the European Space Agency (ESA), and Thales Alenia Space Italia.

In particular, a research placement at Thales Alenia Space Italia is planned. During this period, the PhD candidate will investigate how the trained, tested, and validated AI models, also supported by explainable AI (xAI) techniques, can be adapted for space applications through deployment on embedded computing platforms such as Intel Movidius and/or NVIDIA Jetson Nano. The duration of the placement and the practical activities will be defined according to the specific requirements and progress of the research project.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The PhD programme includes a research period abroad at the University of Arizona (USA), within the Space Systems Engineering Laboratory, a research laboratory internationally recognized for its expertise in Artificial Intelligence applied to space missions and autonomous technologies for planetary exploration. The host research group operates in a highly qualified international environment and is renowned for the development of advanced methodologies in Artificial Intelligence, autonomous control, and intelligent systems for complex space environments. The choice of the host institution provides the opportunity to acquire cutting-edge expertise in Artificial Intelligence. In particular, during the research stay abroad, the PhD candidate will investigate advanced techniques for addressing data scarcity, such as few-shot learning and transfer learning, which are particularly relevant to biomedical and space applications, where the availability of large annotated datasets is often limited. The international research environment will also provide access to interdisciplinary collaborations and advanced research infrastructures, fostering the development of innovative solutions for the diagnosis and monitoring of physiological conditions in extreme environments.

ITA

Proponente: Prof. Cosimo Ieracitano

Tematica di ricerca proposta: explainable Artificial Intelligence e Elettroidrodinamica dei Fluidi per il Monitoraggio della Salute degli Astronauti

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)
max 500 parole

Il presente progetto di ricerca è finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana nell'ambito della tematica 'Science from Moon and Mars: Human and Biological Science' e mira allo sviluppo di metodologie

avanzate per il monitoraggio della salute degli astronauti in missioni di lunga durata, le quali possono aumentare il rischio di processi neurodegenerativi associati a stress ossidativo. L'idea progettuale si basa sull'ipotesi che modifiche biochimiche indotte da stress ossidativo nei fluidi biologici (es. liquido interstiziale) possano riflettersi in variazioni misurabili delle loro proprietà reologiche, osservabili attraverso fenomeni di elettroidrodinamica (EHD). In questo contesto, l'obiettivo scientifico è sviluppare una pipeline che combini: acquisizione sperimentale di dati derivanti da processi EHD; modellazione tramite Artificial Intelligence (AI); interpretabilità tramite explainable AI (xAI), con il fine di identificare stati neurodegenerativi, es. Alzheimer, attraverso l'analisi della deformazione di fluidi biologici dovuta ad effetti di elettroidrodinamica. Dal punto di vista metodologico, il progetto integra tecniche di deep learning con approcci di xAI al fine di garantire non solo elevate prestazioni predittive e di classificazione, ma anche interpretabilità e affidabilità dei modelli.

Il percorso formativo si articolerà su tre anni, con modalità e contenuti progettati per supportare lo sviluppo del progetto di ricerca e l'acquisizione di competenze avanzate e interdisciplinari.

- Anno 1: analisi dello stato dell'arte nei campi dell'elettroidrodinamica e dell'Intelligenza Artificiale applicata al contesto spaziale/biomedico. Parallelamente, saranno avviate attività sperimentali in laboratorio per lo studio della deformazione di biofluidi sintetici, finalizzate a simulare condizioni neuropatologiche associate a stress ossidativo. In questa fase sarà costruito un dataset di flussi video e/o segnali monodimensionali, costituendo la base per le analisi successive.

- Anno 2: sviluppo e addestramento di modelli di Intelligenza Artificiale (es. Convolutional Neural Networks/Vision Transformers/Transfer Learning), per l'identificazione e classificazione di stati fisiopatologici.

- Anno 3: sviluppo e implementazione di modelli di explainable AI per l'interpretazione dei risultati e la validazione dei modelli.

Gli avanzamenti saranno discussi in incontri periodici con i professori e ricercatori del laboratorio della "Bottega della Materia Soffice" e con esperti biologi/clinici, ove possibile, favorendo un confronto scientifico continuo e multidisciplinare.

Le attività formative integrative comprenderanno:

- Partecipazione a seminari, webinar e scuole estive organizzati da associazioni scientifiche nazionali e internazionali;
- Sviluppo di programmi e tirocini in collaborazione con aziende del settore spaziale, quali Thales Alenia Space e European Space Agency;
- Corsi di formazione online per lo sviluppo di modelli di AI in ambienti Python e MATLAB;
- Programmi di mobilità internazionale per esperienze di ricerca avanzata;
- Accesso a risorse di calcolo avanzate per l'addestramento di modelli di AI e l'analisi di dati complessi.

Output attesi includono: almeno un contributo a conferenza internazionale per la presentazione dei risultati preliminari; almeno un articolo peer-reviewed su rivista internazionale, basato sull'analisi di

biofluidi sintetici tramite modelli di deep learning e xAI. Possibili sedi: IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems; Neural Networks, International Journal of Neural Systems. Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il percorso di dottorato si svolgerà presso il DICMaPI dell'Università di Napoli Federico II, nell'ambito del dottorato di ricerca in Ingegneria dei Prodotti e dei Processi Industriali, in collaborazione con i professori e ricercatori dei laboratori della "Bottega della Materia Soffice", costituito da strumentazione avanzata sia per la caratterizzazione dei biofluidi, inclusi set-up EHD e pyro-EHD, sia per l'implementazione dei modelli AI.

Il percorso di dottorato prevede inoltre collaborazioni con importanti enti di ricerca italiani ed esteri,

ad esempio: ISASI-CNR, AILAB dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, University of Arizona, European Space Agency, Thales Alenia Space Italia.

E' prevista in particolare un'esperienza presso Thales Alenia Space Italia, durante la quale il/la dottorando/a si occuperà di come il modello addestrato, testato e validato anche con tecniche xAI, potrà essere "spazializzato" utilizzando piattaforme quali Movidius e/o Jetson Nano. La durata della permanenza e delle attività pratiche sarà modulata in funzione delle esigenze del progetto.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il percorso di dottorato prevede un periodo di ricerca all'estero presso la University of Arizona (USA),

presso il Space Systems Engineering Laboratory, laboratorio di ricerca riconosciuto nel campo dell'Intelligenza Artificiale applicata alle missioni spaziali e alle tecnologie autonome per l'esplorazione planetaria. Il gruppo di ricerca ospitante opera in un contesto altamente qualificato e riconosciuto a livello internazionale per lo sviluppo di metodologie avanzate di AI, controllo autonomo e sistemi intelligenti per ambienti spaziali complessi. La scelta della sede ospitante consente di integrare competenze di frontiera nell'ambito dell'AI. In particolare, durante il periodo all'estero, il dottorando/la dottoranda approfondirà tecniche per la gestione della scarsità dei dati, quali few-shot learning e transfer learning, particolarmente rilevanti per applicazioni biomediche e spaziali, dove la disponibilità di dataset è spesso limitata. L'ambiente di ricerca internazionale favorirà inoltre l'accesso a collaborazioni interdisciplinari e ad infrastrutture avanzate, contribuendo allo sviluppo di

soluzioni innovative per la diagnosi e il monitoraggio delle condizioni fisiologiche in ambienti estremi.

26)Proponent: Antonio Langella - ENG

Proposed research topic: Technologies for the fabrication of natural and self-healing composite materials for sustainable applications

Reference curriculum: Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

The project is framed within the field of technologies for the production of advanced composite materials, with a focus on sustainability and the use of natural raw materials. The main objective is to develop fabrication technologies for composite materials based on an innovative organo-mineral matrix, composed of natural-origin elements (such as casein, hydrated lime, diatomaceous earth, etc.), combined with natural fibers and low environmental impact production processes. This solution aims to meet the growing demand for alternative, eco-friendly materials by proposing a biodegradable, breathable, and potentially self-healing product, suitable for use in sectors such as automotive, construction, and for technical and industrial components.

Natural-origin fibers such as cellulose, hemp, flax, etc. in various formats will be used as reinforcement.

The state of the art shows a strong interest in natural binders and material technologies. Casein, a protein extracted from milk, is already used in natural adhesives and mortars for its cohesive properties. Hydrated lime (aged calcium hydroxide) provides an alkaline environment, breathability, and resistance to microbial proliferation. Diatomaceous earth, composed of fossilized silica shells of microalgae, improves porosity and promotes water retention and thermal insulation. Recent studies have shown that specific microbial agents can trigger the controlled formation of calcium carbonate within natural matrices, contributing to the closure of microcracks and improving the mechanical performance of the material. These phenomena, if properly engineered, offer new perspectives in the design of self-healing composite materials.

Objectives

- Study the fabrication processes of natural composite materials starting from the analysis of a natural matrix, moldable and compatible with artisanal or semi-industrial production processes, to create composites reinforced with natural fibers.
- Optimize sustainable, low-energy fabrication technologies at laboratory scale for the production of simple-shaped elements (e.g., panels).
- Mechanically characterize the fabricated panels according to potential applications.

Preliminary Activity Plan

1. Study the optimal proportions of casein, lime, and diatomaceous earth and other binders to ensure stability and workability; selection of the most compatible natural fibers.
2. Physico-chemical characterization of bulk materials to optimize process parameters for coupon fabrication.
3. Development of composite fabrication processes based on casein and natural fibers: workability, drying, shrinkage tests, etc.
4. Determination of mechanical properties: tensile (compression), flexural, shear, impact tests, and behavior in humid environments.
5. Production and environmental analysis: evaluation of the production cycle, biodegradability, and potential environmental impact.

The project includes the controlled selection and use of natural mineralizing agents capable of activating, under specific conditions, progressive consolidation phenomena in the composite material through calcium carbonate formation. Technical solutions will be studied to ensure the stability, targeted activation, and compatibility of these processes with the organo-mineral matrix, in an engineering-oriented materials design approach.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD will be carried out at the Department of Chemical, Materials and Production Engineering, in collaboration with the CNR – Institute for Polymers, Composites and Biomaterials (IPCB), located in Portici. The project will also benefit from the scientific support of the Institute for Sustainable Plant Protection (IPSP-CNR), in the field of microbiological characterization and selection of bacterial strains useful for biocalcification.

At the Department and CNR-IPCB, the PhD student will have access to multidisciplinary laboratories equipped with advanced tools for:

- Synthesis and characterization of natural-origin composite materials, with pilot plants for mixing, curing, and forming materials;
- Electron microscopy (SEM, TEM) for studying morphology and microstructural component distribution;
- FT-IR spectroscopy and thermal analysis (TGA/DSC) for the physico-chemical characterization of organo-mineral binders;
- Microbiology laboratories for bacterial cultures, vitality tests, and observation of biocalcification phenomena;
- Climate chambers and controlled environments for accelerated aging tests, breathability, and mechanical resistance;
- Material modeling and FEM simulation software (Comsol Multiphysics, MATLAB) for analyzing the thermo-mechanical properties of the developed material;
- Laboratories for composite material fabrication and mechanical characterization (static and dynamic tests).

In addition, national and international scientific collaborations are planned, particularly with:

- CNR-IPSP for activities related to the use of microorganisms, calcifying microbial structures, or bacterial colonies for mineralization and their processes;
- Local companies such as Graded S.p.A. (renewable energy) and/or companies involved in materials for building environmental efficiency and Laterlite S.p.A., which are available to support the experimental validation of samples and the application evaluation of the material in real contexts (e.g., breathable insulation panels or materials for restoration).

The variety of structures and skills involved will provide the PhD student with a highly interdisciplinary environment, a solid scientific foundation, and a clear applied and industrial perspective.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

To enhance scientific and technological expertise in the field of self-healing composite material development, a six-month international mobility period is planned, preferably during the second year of the PhD.

This experience may take place at one or more centers of excellence, selected based on scientific alignment with the project and the availability of host groups. Options under consideration include:

- **University of Cambridge – Department of Materials Science and Metallurgy (UK):** Research group with advanced expertise in biomaterials and innovative composite systems, equipped with high-level laboratories for microstructural characterization and numerical modeling of materials.

- **Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) – Germany:** Leading center in sustainable construction material research, specialized in durability analysis, climate simulations, and hygrothermal performance.

During the stay abroad, the PhD student will access advanced laboratory infrastructures, specialist software, and collaborate with international researchers, contributing to the project through experimental activities, joint scientific publications, and technology transfer.

ITA

Proponente: Antonio Langella

Tematica di ricerca proposta: Tecnologie per la fabbricazione di materiali compositi naturali e autorigeneranti per applicazioni sostenibili

Curriculum di riferimento: Tecnologie e sistemi di produzione

Titolo

Tecnologie per la fabbricazione di materiali compositi naturali e autorigeneranti per applicazioni sostenibili

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Il progetto si inserisce nel contesto delle tecnologie per la produzione di materiali compositi avanzati, con un focus sulla sostenibilità e l'utilizzo di materie prime naturali. L'obiettivo è sviluppare tecnologie per la fabbricazione di materiali compositi a partire da una matrice composita organo-minerale innovativa, costituita da elementi di origine naturale (caseina, grassello di calce, farina di diatomee, etc.), combinati con fibre naturali e tecnologie di produzione a basso impatto ambientale. Questa soluzione intende rispondere alla crescente esigenza di materiali alternativi a basso impatto ambientale, proponendo un prodotto biodegradabile, traspirante e potenzialmente autorigenerante, destinato ad esempio all'impiego nell'industria automobilistica, nell'edilizia, e per componenti per applicazioni tecniche e industriali", etc.

Saranno utilizzate fibre di origine naturale come rinforzo come, e solo a titolo di esempio, fibre di cellulosa, di canapa, di lino etc. in diversi formati.

Lo stato dell'arte dimostra un forte interesse per i leganti naturali e per le tecnologie applicate ai materiali. La caseina, proteina estratta dal latte, è già utilizzata in adesivi e malte naturali per le sue proprietà coesive. Il grassello di calce (idrossido di calcio stagionato) conferisce al materiale un ambiente alcalino, traspirante e resistente alla proliferazione microbica. La farina di diatomee, composta da gusci silicei fossili di microalghe, migliora la porosità e favorisce la ritenzione idrica e l'isolamento termico. Recenti studi hanno dimostrato che specifici agenti microbici possono innescare la formazione controllata di carbonato di calcio all'interno di matrici naturali, contribuendo alla chiusura di microfessurazioni e all'incremento delle prestazioni meccaniche del materiale. Tali fenomeni, opportunamente ingegnerizzati, offrono nuove prospettive nella progettazione di materiali compositi autorigeneranti.

Obiettivi

- Studiare i processi di fabbricazione di materiali compositi naturali a partire dallo studio di una matrice naturale, modellabile e compatibile con processi produttivi artigianali o semi-industriali per realizzare compositi con fibre di origine naturale come rinforzo
- Ottimizzare le tecnologie di fabbricazione sostenibile e a basso consumo energetico su scala di laboratorio per la realizzazione di elementi a geometria semplice (pannelli).
- Caratterizzare meccanicamente i pannelli realizzati in funzione di possibili applicazioni

Programma di massima delle attività

1. Studio delle proporzioni ottimali di caseina, calce e diatomee ed altri alleganti per garantire stabilità, lavorabilità, scelta delle fibre di origine naturale più compatibili.

2. Caratterizzazione chimico fisica dei materiali bulk al fine di ottimizzare i parametri di processo necessari per la realizzazione dei coupon.
3. Sviluppo dei processi di fabbricazione dei compositi a base di caseina e fibre di origine naturale: lavorabilità, asciugatura, test di ritiro, etc..
4. Determinazione delle proprietà meccaniche: Prove di trazione (compressione), flessione, taglio, impatto e comportamento in ambienti umidi.
5. Analisi produttiva e ambientale: valutazione del ciclo produttivo, della biodegradabilità e del potenziale impatto ambientale.

Il progetto prevede la selezione e l'impiego controllato di agenti mineralizzanti naturali capaci di attivare, in condizioni specifiche, fenomeni di consolidamento progressivo del materiale composito attraverso la formazione di carbonato di calcio. Verranno studiate soluzioni tecniche per garantire la stabilità, l'attivazione mirata e la compatibilità di tali processi con la matrice organo-minerale, in un'ottica di progettazione ingegneristica dei materiali.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorato sarà svolto presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale, in collaborazione con il CNR – Istituto per i Polimeri Compositi e Biomateriali (IPCB), con sede a Portici. Il progetto potrà inoltre contare sul supporto scientifico dell'Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante (IPSP-CNR), nell'ambito della caratterizzazione microbiologica e della selezione di ceppi batterici utili per la biocalcificazione.

Presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale, e il CNR-IPCB il dottorando avrà accesso a laboratori multidisciplinari con attrezzature avanzate per:

- Sintesi e caratterizzazione di materiali compositi di origine naturale, con impianti pilota per miscelazione, stagionatura e formatura di materiali;
- Microscopia elettronica (SEM, TEM) per lo studio della morfologia e della distribuzione dei componenti microstrutturali;
- Spettroscopia FT-IR e analisi termiche (TGA/DSC) per la caratterizzazione chimico-fisica dei leganti organo-minerali;
- Laboratori di microbiologia per colture batteriche, test di vitalità e osservazione di fenomeni di biocalcificazione;
- Camere climatiche e ambienti controllati per prove di invecchiamento accelerato, traspirazione e resistenza meccanica;
- Software di modellazione dei materiali e simulazione FEM (Comsol Multiphysics, MATLAB) per l'analisi delle proprietà termo-meccaniche del materiale sviluppato.
- Laboratori per la realizzazione di materiali compositi, caratterizzazione meccanica (prove statiche e dinamiche).

Inoltre, sono previste collaborazioni scientifiche nazionali e internazionali, in particolare con:

CNR-IPSP per le attività legate all'impiego di microorganismi, strutture microbiche calcificanti o colonie batteriche per mineralizzazione e loro processi;

Potranno essere coinvolte anche aziende del territorio campano, come ad esempio Graded S.p.A. (energie rinnovabili) e/o aziende che si occupano di materiali per l'efficienza ambientale degli edifici e Laterlite S.p.A., disponibili a supportare la validazione sperimentale di campioni e la valutazione applicativa del materiale in contesti reali (es. pannelli per isolamento traspirante o materiali per restauro).

La varietà delle strutture e delle competenze coinvolte garantirà al dottorando un ambiente altamente interdisciplinare, con una solida base scientifica e una chiara prospettiva applicativa e industriale.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Con l'obiettivo di arricchire le competenze scientifiche e tecnologiche nel campo dello sviluppo di materiali compositi autorigeneranti, si prevede un periodo di mobilità internazionale della durata di circa sei mesi, da svolgersi preferibilmente nel secondo anno del dottorato.

Tale esperienza potrà svolgersi presso uno o più centri di ricerca di eccellenza, selezionati in base alla coerenza scientifica con il progetto e alla disponibilità dei gruppi ospitanti. Tra le opzioni considerate:

- University of Cambridge – Department of Materials Science and Metallurgy (Regno Unito): Gruppo di ricerca con competenze avanzate in biomateriali e sistemi compositi innovativi, dotato di laboratori di alto livello per la caratterizzazione microstrutturale e la modellazione numerica dei materiali.
- Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) – Germania: Centro leader nella ricerca sui materiali da costruzione sostenibili, specializzato in analisi di durabilità, simulazioni climatiche e prestazioni termoigrometriche.

Durante il soggiorno all'estero, il/la dottorando/a potrà accedere a infrastrutture laboratoriali avanzate, software specialistici e interfacciarsi con ricercatori internazionali, contribuendo allo sviluppo del progetto attraverso attività sperimentali, pubblicazioni scientifiche congiunte e trasferimento tecnologico.

27) Proponent: Barbara Liguori - ENG

Proposed research topic: Advanced ceramic materials for acid mine drainage treatment

Relevant curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering

Research Project Summary (state of the art, brief work programme and objectives)

Acid mine drainage is one of the most persistent forms of industrial water pollution. It is characterised by very low pH values and high concentrations of potentially toxic metals and metalloids, including iron, copper, zinc, lead, cadmium and arsenic. Conventional treatment methods generally rely on chemical neutralisation, which requires large quantities of reagents and generates significant volumes of metal-rich sludge. The development of low-cost, regenerable and structurally stable sorbents is therefore essential to improve the environmental and economic sustainability of mine-water treatment.

The PhD project will focus on the development of geopolymers, namely inorganic materials produced by the alkaline activation of aluminosilicate precursors, using industrial residues such as red mud, biomass fly ash and metallurgical slags. These materials offer the opportunity to combine waste valorisation with water remediation. Their chemical composition, alkaline character and tunable porous structure may promote both pH regulation and metal removal through adsorption and ion exchange. However, their practical application requires careful control of composition, rheology, porosity, mechanical stability, surface chemistry and long-term behaviour under strongly acidic conditions.

The research activities will address the development and functional characterisation of structured porous sorbents in the form of monoliths and millimetre-sized granules. Different formulations will be investigated to establish relationships among precursor composition, alkaline activation conditions, final properties and processability. Particular attention will be paid to rheological optimisation for additive manufacturing and the production of spherical bodies. Yield stress, viscosity, thixotropy, extrudability and shape-retention capability will be evaluated in order to identify formulations suitable for producing stable, highly porous structures.

A second research line will investigate the functionalisation of inorganic polymers through the in situ formation of zeolitic phases. Suitable thermal and hydrothermal treatments will be identified and optimised by varying solution composition, alkalinity, temperature and treatment time. The aim will be to increase the specific surface area, introduce microporosity and tailor ion-exchange properties while preserving the mechanical integrity of the resulting structures.

The materials will be characterised in terms of phase composition, microstructure, pore architecture, specific surface area, chemical stability and release of potentially contaminating species. Their ability to regulate pH and remove metals will be assessed using both model solutions and real acid mine drainage samples. The influence of geometry, porosity and functionalisation on mass-transfer phenomena and adsorption performance will also be investigated.

Finally, the project will address the regeneration of spent sorbents and the selective recovery of retained metals. Desorption conditions will be optimised to obtain concentrated metal-rich solutions while preserving material stability and efficiency over repeated adsorption-desorption cycles. The final outcome will be the definition of material and process design criteria for scalable, regenerable and waste-derived sorbents intended for high-value environmental remediation processes.

Brief information on the operational and scientific facilities (equipment, software, laboratories, etc.) available to the PhD student for carrying out the proposed activities, and on collaborations with other Italian and international research institutions or companies potentially relevant to the research topic.

The research activities will involve the use of equipment for the chemical, physical and microstructural characterisation of materials, including X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform

infrared spectroscopy (FTIR), mercury intrusion porosimetry, gas adsorption analysis, pycnometry and laser diffraction particle-size analysis. Rheological characterisation will be performed using a rotational rheometer.

Within the research area addressed by this proposal, the research group has active scientific collaborations with the University of Aveiro, Portugal, and the University of Oulu, Finland.

Brief information on any planned research period abroad (duration, research group, university or research institution)

A research period abroad is planned at one of the above-mentioned universities. Activities may focus on material granulation at the University of Oulu or on pollutant-removal processes, sorbent regeneration and metal recovery at the University of Aveiro.

ITA

Proponente: Barbara Liguori

Tematica di ricerca proposta: Materiali ceramici avanzati per il trattamento del drenaggio acido di miniera

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria Chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

Il drenaggio acido di miniera rappresenta una delle forme più persistenti di inquinamento delle acque di origine industriale. È caratterizzato da valori di pH molto bassi e da elevate concentrazioni di metalli e metalloidi potenzialmente tossici, tra cui ferro, rame, zinco, piombo, cadmio e arsenico. I trattamenti convenzionali si basano prevalentemente sulla neutralizzazione chimica, che richiede grandi quantità di reagenti e genera volumi significativi di fanghi ricchi di metalli. Lo sviluppo di sorbenti economici, rigenerabili e strutturalmente stabili è pertanto essenziale per migliorare la sostenibilità ambientale ed economica del trattamento delle acque di miniera. Il progetto di dottorato sarà incentrato sullo sviluppo di geopolimeri ottenuti mediante attivazione alcalina di precursori silico-alluminatici derivati da residui industriali, quali fanghi rossi, ceneri volanti da biomassa e scorie metallurgiche. Questi materiali consentono di integrare la valorizzazione dei rifiuti con il risanamento delle acque. La loro composizione chimica, il carattere alcalino e la struttura porosa modulabile possono favorire la regolazione del pH e la rimozione dei metalli mediante adsorbimento e scambio ionico. La loro applicazione richiede tuttavia un accurato controllo della composizione, della reologia, della porosità, della stabilità meccanica, della chimica superficiale e del comportamento in condizioni fortemente acide. Le attività riguarderanno lo sviluppo e la caratterizzazione di sorbenti porosi strutturati, sotto forma di monoliti e granuli millimetrici. Saranno studiate diverse formulazioni per correlare composizione dei precursori, condizioni di attivazione alcalina, proprietà finali e processabilità. Particolare attenzione sarà dedicata all'ottimizzazione reologica delle miscele per la manifattura additiva e la produzione di corpi sferici, valutando tensione di snervamento, viscosità, tissotropia, estrudibilità e mantenimento della forma.

Una seconda linea di ricerca riguarderà la funzionalizzazione dei geopolimeri mediante formazione in situ di fasi zeolitiche. Saranno ottimizzati trattamenti termici e idrotermali, variando composizione della soluzione, alcalinità, temperatura e durata, con l'obiettivo di incrementare l'area superficiale specifica, introdurre microporosità e migliorare le proprietà di scambio ionico, preservando l'integrità meccanica delle strutture. I materiali saranno caratterizzati in termini di composizione di fase, microstruttura, porosità, area superficiale, stabilità chimica e rilascio di specie contaminanti. La capacità di regolare il pH e rimuovere i metalli sarà valutata mediante soluzioni modello e campioni reali di drenaggio acido di miniera, analizzando anche l'influenza di geometria e porosità sui fenomeni di trasferimento di massa. Infine, saranno studiate la rigenerazione dei

sorbenti esausti e il recupero selettivo dei metalli. Le condizioni di desorbimento saranno ottimizzate per ottenere soluzioni concentrate, mantenendo stabilità ed efficienza durante cicli ripetuti. Il progetto definirà criteri di progettazione e processo per sorbenti scalabili, rigenerabili e derivati da rifiuti, destinati a interventi di risanamento ambientale ad alto valore aggiunto.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività di ricerca prevederà l'impiego di apparecchiature per la caratterizzazione chimico-fisica e microstrutturale dei materiali, tra cui diffrattometro a raggi X (XRD), spettrometro FTIR, porosimetro a intrusione di mercurio, analizzatore per adsorbimento di gas, picnometro e granulometro laser. La caratterizzazione reologica sarà condotta mediante reometro rotazionale. Nell'ambito delle tematiche oggetto della proposta, il gruppo di ricerca intrattiene collaborazioni scientifiche attive con l'Università di Aveiro, in Portogallo, e con l'Università di Oulu, in Finlandia.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo di ricerca all'estero presso una delle Università sopra indicate. Le attività potranno riguardare la granulazione dei materiali presso l'Università di Oulu oppure lo studio dei processi di rimozione degli inquinanti, rigenerazione dei sorbenti e recupero dei metalli presso l'Università di Aveiro.

28) Proponent: ValentinaLo Presto - ENG

Proposed research topic: Study and design of floor panels featuring integrated auxetic structures as sandwich cores with enhanced mechanical properties for medium- to long-range aircraft applications.

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

Development of innovative solutions with auxetic structures integrated into sandwich architectures.

Work will focus on developing three-dimensional auxetic structures as cores of sandwich panels, aiming to enable optimized load distribution and significant weight reduction. Auxetic properties will help prevent stress concentrations and working in synergy with the outer skin improve the component's overall response, maximizing structural efficiency while minimizing mass. This entails enhancing load-bearing capacity, impact resistance, and operational vibration damping, as well as improving passenger comfort, increasing damage tolerance, and ensuring compliance with safety requirements.

The objective is to reduce weight by at least 6% compared to the commercial standard currently approved for commercial flights, and to improve the mechanical performance of these innovative sandwich panels by up to 8% relative to the reference values for long-beam bending and impact resistance (based on an aramid-fiber Nomex core and phenolic thermoset resin skins reinforced with glass or carbon fiber). Innovative materials featuring auxetic structures will be produced using additive manufacturing technology, selected according to the specific requirements.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic All lattice samples (both non-optimized and multi-objective optimized auxetic structures) will be fabricated using either a stereolithography (SLA) printer with elastic resin or Fused Deposition Modelling (FDM) technology with a high-strength elastomeric thermoplastic material. Each sample will essentially consist of a cubic lattice based on an FCC architecture. The base geometry and design parameters—as well as any sample-specific modifications resulting from optimization will be evaluated during the preliminary stages to ensure damping capabilities by leveraging customizable deformation behavior. Consideration will be given to fabricating structures with non-uniform cells, exploiting their ability to redirect damage toward intact cells; consequently, cell design will be tailored to load concentrations. The manufactured parts will undergo post-processing, potentially involving the integration of additives into the uncured resin to ensure desired cell performance and enhance final product quality, depending on the chosen technology.

Interaction with the skins will be a key aspect.

Dimensional checks (using calipers and optical inspection), non-visual inspections (tomography), and mechanical characterization tests—covering both static (bending, compression) and dynamic (impact) loading—will be used to verify the structure's quality and the overall flatness of the contact surface.

The following technologies are eligible for functional interaction within "sandwich" architectures:

- the core, primarily made of auxetic structures made from thermoplastic material via FDM (Fused Deposition Modelling) 3D printing. The integration of natural fibers will also be evaluated to enhance vibroacoustic performance and damping accelerations transmitted from the floor to the passenger cabin;
- the faces or “skins,” made primarily of epoxy-type thermosetting resins and reinforced with carbon fibers.

The activities will be carried out according to requirements and in collaboration with an aerospace company.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

For the period abroad, the doctoral student will have the opportunity to choose from numerous contacts with universities and research centers, as well as with European companies.

ITA

Proponente: Valentina Lopresto

Tematica di ricerca proposta: Studio e progettazione di pannelli pavimento in strutture auxetiche integrate come core di sandwich con migliorate proprietà meccaniche per applicazioni in velivoli di medio-lungo raggio.

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Sviluppo di soluzioni innovative con strutture auxetiche integrate in architetture di tipo sandwich

Si lavorerà allo sviluppo di strutture auxetiche tridimensionali da proporre come core di pannellature sandwich allo scopo di consentire una distribuzione ottimizzata dei carichi con una riduzione significativa del peso. Le proprietà auxetiche saranno utili ad evitare concentrazioni di sforzi tensionali e, in sinergia con la skin esterna, a migliorare la risposta globale del componente massimizzando l'efficienza strutturale con massa ridotta: capacità portante, resistenza all'impatto e smorzamento delle vibrazioni in condizioni di esercizio, miglioramento del comfort dei passeggeri, aumento della tolleranza al danno e al rispetto dei requisiti di sicurezza.

Si punterà alla diminuzione del peso di almeno l'6% rispetto allo standard commerciale attualmente approvato per i voli commerciali, e ad incrementare le prestazioni meccaniche dei pannelli innovativi in architetture di tipo sandwich fino al 8% rispetto ai seguenti valori di riferimento relativi alla flessione a trave lunga e resistenza ad impatto del pannello di riferimento (Nomex in fibra aramidica per il *core* e rinforzi sia in fibra di vetro sia in fibra di carbonio in resine termoisolanti di tipo fenolico per i *layer* del pannello 'sandwich'). Materiali innovativi con strutture auxetiche saranno ottenuti con tecnologia di manifattura additiva che sarà scelta sulla base delle caratteristiche richieste.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Tutti i campioni reticolari (strutture auxetiche non ottimizzate e ottimizzate per più obiettivi) saranno realizzati utilizzando o una stampante stereo litografica (SLA) e resina elastica oppure mediante tecnologia Fused Deposition Modelling (FDM) e materiale termoplastico elastomero ad alta resistenza. Ogni campione rappresenterà di base un reticolo cubico basato su un'architettura FCC. La geometria di base e i parametri di progettazione, nonché le modifiche specifiche del campione introdotte dall'ottimizzazione, saranno comunque valutate nelle fasi preliminari nell'ottica di garantire capacità di smorzamento sfruttando il comportamento deformativo personalizzabile. Si prenderà in considerazione la possibilità di realizzare strutture con celle non uniformi sfruttando la capacità di tali strutture di reindirizzare il danno verso celle integre. La progettazione delle celle avverrà quindi in funzione della concentrazione dei carichi. I pezzi realizzati saranno soggetti a post processo/post-elaborazione integrando eventualmente la resina non polimerizzata con additivi per garantire le prestazioni della cella desiderate migliorando la qualità del prodotto finale in funzione della tecnologia adottata.

Importante aspetto sarà l'interazione con le skin.

I controlli dimensionali (calibro e ispezione ottica) e di ispezione non visiva (tomografia) così come i controlli di caratterizzazione meccanica sia statica (flessione, compressione) sia dinamica

(impatto) saranno utilizzati per verificare la bontà/qualità della struttura e la planarità globale della superficie di contatto.

Di seguito le tecnologie eleggibili per una interazione funzionale in architetture di tipo ‘sandwich’:

- l’anima o “core” realizzata prevalentemente con strutture auxetiche in materiale termoplastico di stampa 3D via FDM (Fused Deposition Modelling). Si valuterà la possibilità di integrazione anche di fibre naturali per aumentarne la prestazione vibroacustica e smorzamento delle accelerazioni trasmesse dal pavimento alla cabina passeggeri;
- le facce o “skin” realizzate prevalentemente in resine termoindurenti di tipo epossido e rinforzate in fibre di carbonio.

Le attività si svolgeranno secondo le esigenze ed in collaborazione con un’azienda aeronautica.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all’estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Per il periodo all’estero il dottorando avrà la possibilità di scegliere tra numerosi contatti sia con università e centri di ricerca sia con aziende Europee.

29) Proponent: Giuseppina Luciani, Rossana Pasquino, Pietro Renato Avallone, Virginia Venezia - ENG

Proposed research topic: Development of Multifunctional Bio-Hydrogels from Fishery and Lignocellulosic Waste: Design, Characterization and Applications for the Circular Bioeconomy

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering Production Technologies and Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

The growing interest in circular economy and sustainable bioeconomy models is driving the development of novel biomaterials obtained through the valorization of industrial by-products and waste streams. In this context, natural polysaccharides, proteins, and aromatic compounds derived from residual biomass represent a promising alternative to conventional synthetic materials owing to their renewability, biodegradability, and reduced environmental impact.

Preliminary results obtained from hydrogels based on κ -carrageenan and sodium lignosulfonate have demonstrated that the incorporation of lignin significantly enhances the mechanical properties, thermal stability, and antimicrobial activity of the material. These improvements are attributed to the establishment of intermolecular interactions and the strengthening of the hydrogel three-dimensional network.

Building upon these findings, the present project aims to design and develop multifunctional bio-hydrogels obtained by combining κ -carrageenan, lignin, and gelatin extracted from fish-processing waste, including fish skin, bones, and scales. Fish gelatin represents a high-value resource characterized by excellent biocompatibility and biodegradability, while its recovery and reuse contribute to reducing the environmental impact associated with fishery by-products. Such residues account for approximately 75% of the processed marine biomass, and their valorization can play a strategic role in implementing sustainable technological and economic models. This aspect is particularly relevant considering the increasing global importance of the fisheries sector, driven by changing dietary habits and continued population growth.

From a scientific perspective, the main objective of the research is to understand how the incorporation of fish gelatin affects the structure and properties of κ -carrageenan/lignin systems. It is hypothesized that the simultaneous presence of polysaccharide, protein, and phenolic functional groups will promote the formation of a more stable three-dimensional network through hydrogen bonding, electrostatic interactions, and other intermolecular forces, ultimately improving the mechanical and functional properties of the material. From a technological standpoint, the knowledge generated will enable the rational tuning of these properties, leading to the development of innovative biomaterials with performances superior to those of the individual components.

The research activities will be organized into three main phases. During the first phase, fish gelatin will be extracted from fishery waste and characterized using chemical, physical, and spectroscopic techniques. Particular attention will be devoted to the development of innovative, sustainable, and biocompatible extraction strategies based on Natural Deep Eutectic Solvents (NaDES), combined with highly efficient non-conventional energy sources such as microwave and ultrasound-assisted processes.

In the second phase, hydrogels with different compositions will be prepared and the structure–property relationships will be investigated through rheological, mechanical, thermal, and morphological analyses. Gelation phenomena, sol–gel and gel–sol transition temperatures, and the stability of the resulting three-dimensional networks will also be evaluated.

In the third phase, the functional properties of the materials will be investigated, with particular emphasis on antibacterial, antifungal, and antioxidant activities, which have already been demonstrated in lignin-containing systems. Potential applications of the developed bio-hydrogels in different technological fields will also be assessed.

The expected outcomes include the development of novel fully bio-based materials obtained through the valorization of two different industrial waste streams, with potential applications in active food packaging, sustainable agriculture, and regenerative medicine. Furthermore, the project will contribute to the valorization of fishery and lignocellulosic residues by promoting innovative strategies aligned with European objectives related to the circular economy, blue economy, and environmental sustainability. The originality of the research lies in the development of multifunctional systems based on the combination of κ -carrageenan, lignin, and fish gelatin, a formulation that remains largely unexplored in the scientific literature and exhibits significant application potential.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

Most of the experimental activities will be carried out at the Rheolab laboratories of the University of Naples Federico II, located at the Piazzale Tecchio and San Giovanni a Teduccio campuses. The PhD student will have access to a wide range of instrumentation for material preparation and characterization, including rotational rheometers, calorimeters, texture analyzers, and microscopy facilities, as well as advanced physicochemical characterization techniques such as Scanning Electron Microscopy (SEM), Transmission Electron Microscopy (TEM), UV–Vis spectroscopy, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Dynamic Light Scattering (DLS).

Additional advanced characterization studies, particularly through Small-Angle X-ray Scattering (SAXS) and Small-Angle Neutron Scattering (SANS), will be performed at specialized European research centers and collaborating institutions.

Potential scientific collaborations include:

- Prof. Mirella Di Lorenzo (University of Bath, United Kingdom) – biomedical devices and healthcare technologies;
- Dr. Viviane Lutz-Bueno (Switzerland) – scattering techniques and structural characterization;
- Prof. Denis Gunes (KU Leuven, Belgium) – food applications;
- Prof. Mika H. Sipponen (Stockholm University, Sweden) – sustainable processes and biowaste valorization;
- Dr. Cristina Prieto (IATA-CSIC, Spain) – electrospun materials for food and biomedical applications.

The project will also benefit from the collaboration with the BlueFish Consortium, located in the Campania region (Italy), which specializes in fish processing and commercialization and will provide support in the sourcing, management, and valorization of fishery waste streams.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The PhD student will spend a total period of at least nine months abroad at the University of Bath (United Kingdom), within the research group of Prof. Mirella Di Lorenzo, and at Stockholm University (Sweden), within the research group of Prof. Mika H. Sipponen. The international research period may be divided into two separate stays of six and three months, respectively, at the two host institutions. This mobility period is planned between months 18 and 30 of the PhD programme, once the most promising hydrogel formulations have been identified through rheological investigations and complemented by morphological and functional characterization.

During the stay at Stockholm University, the PhD student will acquire advanced expertise in sustainable lignin modification and functionalization strategies aimed at improving its properties and facilitating its integration into innovative polymeric systems. At the University of Bath, the student will investigate the potential use of the developed bio-based hydrogels in bioengineering

and biomedical applications, gaining expertise in the evaluation of their functional properties and their possible integration into bioelectronic devices and other innovative healthcare technologies. The international experience will enable the PhD student to acquire multidisciplinary skills, expand their scientific network, and foster knowledge exchange among complementary research groups, thereby enhancing both the scientific impact and the application potential of the project.

ITA

Proponente: Giuseppina Luciani, Rossana Pasquino, Pietro Renato Avallone, Virginia Venezia

Tematica di ricerca proposta: Sviluppo di bio-idrogel multifunzionali da scarti ittici e lignocellulosici: progettazione, caratterizzazione e applicazioni per la bioeconomia circolare

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

La crescente attenzione verso i modelli di economia circolare e bioeconomia sostenibile richiede lo sviluppo di nuovi biomateriali ottenuti dalla valorizzazione di sottoprodotti e scarti industriali. In questo contesto, polisaccaridi naturali, proteine e composti aromatici derivanti da biomasse residuali rappresentano una valida alternativa ai materiali sintetici convenzionali, grazie alla loro rinnovabilità, biodegradabilità e ridotto impatto ambientale.

Risultati preliminari ottenuti su idrogeli a base di κ -carragenina e lignosolfonato di sodio hanno evidenziato come l'introduzione della lignina migliori significativamente le proprietà meccaniche, la stabilità termica e l'attività antimicrobica del materiale. Tali miglioramenti sono attribuibili alla formazione di interazioni intermolecolari e al rafforzamento della rete tridimensionale dell'idrogelo. Partendo da queste evidenze, il presente progetto propone la progettazione e lo sviluppo di bio-idrogeli multifunzionali ottenuti dalla combinazione di κ -carragenina, lignina e gelatina estratta da scarti dell'industria ittica, quali pelle, lisce e squame di pesce. La gelatina ittica rappresenta una risorsa ad elevato valore aggiunto, caratterizzata da elevata biocompatibilità e biodegradabilità; il suo recupero e riutilizzo consentono inoltre di ridurre l'impatto ambientale associato ai residui della filiera della pesca. Tali scarti costituiscono circa il 75% della biomassa marina lavorata e la loro valorizzazione può svolgere un ruolo strategico nell'implementazione di modelli economici e tecnologici sostenibili. Questo aspetto assume particolare rilevanza alla luce della crescente importanza del settore ittico a livello globale, trainata dall'evoluzione delle abitudini alimentari e dall'aumento della popolazione mondiale.

Sul piano scientifico, l'obiettivo principale della ricerca è comprendere come l'introduzione della gelatina ittica influenzi la struttura e le proprietà dei sistemi κ -carragenina/lignina. In particolare, si ipotizza che la presenza simultanea di gruppi funzionali polisaccaridici, proteici e fenolici favorisca la formazione di un network tridimensionale più stabile attraverso legami a idrogeno, interazioni elettrostatiche e altre interazioni intermolecolari, determinando un miglioramento delle proprietà meccaniche e funzionali del materiale. Sul piano tecnologico, le conoscenze acquisite consentiranno di modulare razionalmente tali proprietà, permettendo la progettazione di biomateriali innovativi con prestazioni superiori rispetto a quelle dei singoli componenti.

Le attività di ricerca saranno articolate in tre fasi principali. Nella prima fase verranno effettuate l'estrazione e la caratterizzazione della gelatina ottenuta da scarti ittici mediante tecniche chimico-fisiche e spettroscopiche. Particolare attenzione sarà dedicata allo sviluppo di strategie innovative, sostenibili e biocompatibili per il recupero delle componenti bioattive dalla biomassa, mediante l'utilizzo di Natural Deep Eutectic Solvents (NaDES) combinati con fonti di energia non convenzionali ad elevata efficienza, quali microonde e ultrasuoni.

Nella seconda fase saranno sviluppati idrogeli a diversa composizione e saranno studiate le relazioni struttura-proprietà attraverso analisi reologiche, meccaniche, termiche e morfologiche. Verranno inoltre approfonditi i fenomeni di gelificazione, le transizioni sol-gel e gel-sol e la stabilità delle reti tridimensionali ottenute.

Nella terza fase saranno investigate le proprietà funzionali dei materiali, con particolare attenzione alle attività antibatterica, antifungina e antiossidante, già dimostrate per sistemi contenenti lignina. Saranno inoltre valutate le potenziali applicazioni dei bio-idrogeli sviluppati in diversi ambiti tecnologici.

I risultati attesi comprendono lo sviluppo di nuovi biomateriali completamente bio-based ottenuti dalla valorizzazione di due differenti flussi di scarto industriale, con potenziali applicazioni nei settori del packaging alimentare attivo, dell'agricoltura sostenibile e della medicina rigenerativa. Il progetto contribuirà inoltre alla valorizzazione degli scarti delle filiere ittica e lignocellulosica, promuovendo strategie innovative coerenti con gli obiettivi europei di economia circolare, blue economy e sostenibilità ambientale. L'originalità della ricerca risiede nello sviluppo di sistemi multifunzionali basati sulla combinazione di κ -carragenina, lignina e gelatina ittica, una formulazione ancora poco esplorata in letteratura e caratterizzata da un elevato potenziale applicativo.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

La maggior parte delle attività sperimentali verrà svolta presso i laboratori del Rheolab dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, situati nelle sedi di Piazzale Tecchio e San Giovanni a Teduccio. Il dottorando avrà accesso a una vasta gamma di strumentazioni per la preparazione e la caratterizzazione dei materiali, tra cui reometri rotazionali, calorimetri, texturometri e microscopi, oltre a tecniche avanzate di caratterizzazione chimico-fisica quali microscopia elettronica a scansione (SEM), microscopia elettronica a trasmissione (TEM), spettroscopia UV-Vis, spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FTIR) e scattering dinamico della luce (DLS).

Ulteriori caratterizzazioni avanzate, in particolare mediante Small-Angle X-ray Scattering (SAXS) e Small-Angle Neutron Scattering (SANS), saranno effettuate presso centri di ricerca e gruppi europei specializzati.

Le potenziali collaborazioni scientifiche includono:

- Prof.ssa Mirella Di Lorenzo (University of Bath, Regno Unito) –dispositivi biomedicali;
- Dr.ssa Viviane Lutz-Bueno (Svizzera) – tecniche di scattering e caratterizzazione strutturale;
- Prof. Denis Gunes (KU Leuven, Belgio) – applicazioni alimentari;
- Prof. Mika H. Sipponen (Stockholm University, Svezia) – processi sostenibili e valorizzazione di biomasse residuali;
- Dr.ssa Cristina Prieto (IATA-CSIC, Spagna) – materiali elettrofilati per applicazioni alimentari e biomedicali.

Il progetto si avvarrà inoltre della collaborazione del Consorzio BlueFish, con sede in Campania, specializzato nella lavorazione e commercializzazione di prodotti ittici, che potrà fornire supporto nell'approvvigionamento e nella valorizzazione degli scarti della filiera.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il dottorando trascorrerà un periodo complessivo di almeno nove mesi presso la University of Bath (Regno Unito), nel gruppo della Prof.ssa Mirella Di Lorenzo, e presso la Stockholm University (Svezia), nel gruppo del Prof. Mika H. Sipponen. Il periodo di ricerca all'estero potrà essere articolato in due soggiorni, della durata rispettivamente di sei e tre mesi, presso i due gruppi coinvolti. Questo periodo si colloca nei mesi 18-30 del percorso di dottorato, quando saranno state selezionate le formulazioni più promettenti studiate con tecniche reometriche, abbinate a una caratterizzazione morfologica e funzionale.

In particolare, durante il soggiorno presso la Stockholm University acquisirà competenze avanzate nelle strategie sostenibili di modifica e funzionalizzazione della lignina, finalizzate al

miglioramento delle sue proprietà e all'integrazione in sistemi polimerici innovativi. Presso la University of Bath approfondirà l'utilizzo dei bio-idrogeli sviluppati in applicazioni bioingegneristiche e biomedicali, acquisendo competenze nella valutazione delle loro proprietà funzionali e nella possibile integrazione in dispositivi bioelettronici, e altre tecnologie innovative per il settore healthcare.

L'esperienza internazionale consentirà al dottorando di acquisire competenze multidisciplinari, ampliare la propria rete scientifica e favorire il trasferimento di conoscenze tra gruppi di ricerca complementari, incrementando il valore scientifico e applicativo del progetto.

30) Proponent: Prof. Pier Luca Maffettone-DICMAPI - ENG

Proposed research topic: Development of Technological Platforms for Gene-Based Immune Potentiators as Adjuvants for Nucleic Acid Therapies

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering X Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

Nucleic acid-based therapeutics, including mRNA vaccines, plasmid DNA, and therapeutic oligonucleotides, have revolutionized modern medicine owing to their versatility, rapid development, and ability to induce highly specific therapeutic responses. However, their efficacy strongly depends on the activation of appropriate innate and adaptive immune responses. In this context, gene-based immune potentiators, consisting of DNA or RNA sequences capable of modulating specific immune pathways, are emerging as a new class of molecular adjuvants able to enhance the efficacy of nucleic acid therapies. Despite significant advances, important challenges remain regarding the rapid and scalable production of genetic constructs, process standardization, and the integration of manufacturing technologies suitable for future industrial implementation.

This research project aims to develop an innovative technological platform for the rapid and high-throughput production of genetic constructs intended for use as immune potentiators. The core innovation will be the development of a continuous-flow PCR platform capable of amplifying DNA templates at volumes significantly higher than those achievable with conventional microfluidic PCR systems. By adopting a numbered-up multichannel architecture, the proposed device will process reaction volumes of up to 50 mL within one hour while ensuring excellent thermal uniformity, high amplification efficiency, reproducibility, and reduced energy consumption. This approach overcomes the limitations of conventional batch PCR by introducing a scalable continuous manufacturing strategy suitable for future biomanufacturing applications.

The research activities will include computational fluid dynamics (CFD) and thermal simulations for reactor design, fabrication of microfluidic prototypes using advanced manufacturing technologies, optimization of flow conditions, residence time and thermal profiles, and experimental validation through the amplification of immunologically relevant genetic constructs. Mathematical models will also be developed to correlate operating parameters with amplification efficiency, product quality, and overall process productivity.

The final objective is to establish a modular, scalable, and highly automated technological platform capable of accelerating the production of genetic templates for gene-based immune adjuvants intended for nucleic acid therapies. The proposed research will contribute to the development of enabling technologies for precision medicine while strengthening national capabilities in advanced vaccine manufacturing, gene-based therapeutics, and rapid-response platforms for future emerging infectious diseases. Furthermore, the developed technology is expected to facilitate technology transfer toward industrial continuous biomanufacturing processes for nucleic acid production.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The research activities will be carried out at the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II, which offers state-of-the-art laboratories and research facilities dedicated to microfluidics, biomaterials, process engineering, and biotechnology. The PhD candidate will have access to laboratories equipped for the design, fabrication, and characterization of microfluidic devices, including high-resolution 3D printing systems, soft lithography facilities, precision pumping systems, temperature-controlled platforms, optical and fluorescence microscopy, UV-Vis spectrophotometry, fluorescence spectroscopy, FTIR spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), and instrumentation for the structural and functional characterization of advanced microfluidic systems.

Device design and optimization will be supported by computer-aided design (CAD) software and computational fluid dynamics (CFD) tools for the simulation of fluid flow, heat transfer, and residence time distribution within continuous-flow reactors. The project will benefit from the research group's consolidated expertise in microfluidic engineering, continuous-flow processing, and the development of innovative technological platforms for biomedical and biotechnological applications.

The research will also take advantage of an established national and international collaborative network. At the national level, the project will benefit from collaboration with CEINGE – Advanced Biotechnologies "Franco Salvatore", providing expertise in molecular biology, genomics, and biomolecular validation of the developed genetic constructs. Internationally, the research group maintains active collaborations with leading academic institutions in Europe and overseas working in microfluidics, bioengineering, biotechnology, and nucleic acid technologies, promoting scientific exchange, researcher mobility, and joint research activities.

The multidisciplinary expertise, advanced research infrastructure, and international collaborative environment will provide the PhD candidate with excellent training opportunities while supporting the development and future translation of innovative technologies for nucleic acid biomanufacturing.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A research stay abroad of approximately 3–6 months is planned at a leading international research institution specializing in microfluidics, biomanufacturing, and nucleic acid technologies. In particular, the PhD candidate is expected to undertake a research visit within the group of Prof. Andrew J. deMello at the Department of Chemistry and Applied Biosciences, ETH Zürich (Switzerland), internationally recognized for pioneering research in microfluidics, analytical technologies, and continuous-flow systems.

The research period will provide advanced training in the design and optimization of high-throughput microfluidic platforms, thermal and fluid dynamic characterization of continuous-flow reactors, and the development of integrated technologies for biotechnological manufacturing. The candidate will also benefit from access to cutting-edge research facilities and instrumentation while actively participating in the scientific activities of the host laboratory, strengthening the long-standing collaboration between the two research groups.

The international mobility period will significantly enhance the candidate's scientific and professional development by promoting knowledge transfer, multidisciplinary training, and the establishment of long-term international collaborations in advanced microfluidic technologies for nucleic acid manufacturing and biomedical applications.

ITA

Proponente: Prof. Pier Luca Maffettone, DICMAPI

Tematica di ricerca proposta: Sviluppo di piattaforme tecnologiche per potenziatori immunitari

basati sui geni come adiuvanti per terapie a base di acidi nucleici

Curriculum di riferimento:

Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Ingegneria chimica X

Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

Le terapie basate su acidi nucleici, tra cui vaccini a mRNA, DNA plasmidico e oligonucleotidi terapeutici, rappresentano una delle principali innovazioni della medicina moderna grazie alla loro elevata versatilità, rapidità di sviluppo e capacità di indurre risposte terapeutiche altamente specifiche. Tuttavia, la loro efficacia dipende in larga misura dalla capacità di attivare una risposta immunitaria innata e adattativa adeguata. In questo contesto, gli adiuvanti genetici, costituiti da sequenze di DNA o RNA in grado di modulare specifici pathway immunitari, stanno emergendo come una nuova classe di potenziatori immunitari capaci di migliorare l'efficacia delle terapie a base di acidi nucleici. Nonostante i significativi progressi, persistono importanti limitazioni legate alla produzione rapida e scalabile dei costrutti genetici, alla standardizzazione dei processi e all'integrazione tra produzione e sviluppo preclinico.

Il progetto si propone di sviluppare una piattaforma tecnologica innovativa per la produzione rapida e ad alta efficienza di costrutti genetici destinati all'impiego come adiuvanti immunitari. L'elemento innovativo sarà rappresentato dalla realizzazione di un sistema di **continuous-flow PCR** ad elevata produttività, progettato per l'amplificazione rapida di template genetici in volumi significativamente superiori rispetto alle tradizionali piattaforme microfluidiche. Attraverso un'architettura multicanale (numbering-up), il dispositivo consentirà di processare fino a 50 mL di miscela di reazione in tempi inferiori a un'ora, garantendo elevata uniformità termica, riproducibilità e ridotto consumo energetico. Tale approccio supera i limiti delle PCR batch convenzionali, introducendo un paradigma di produzione continua facilmente scalabile e compatibile con future applicazioni industriali.

Le attività di ricerca comprenderanno la progettazione fluidodinamica e termica del dispositivo mediante simulazioni CFD, la fabbricazione dei prototipi con tecnologie di microfabbricazione e manifattura additiva, l'ottimizzazione delle condizioni operative (portata, tempi di residenza, distribuzione termica e uniformità dell'amplificazione) e la validazione sperimentale mediante l'amplificazione di costrutti genetici di interesse immunologico. Verranno inoltre sviluppati modelli matematici per correlare i parametri di processo con l'efficienza di amplificazione, la qualità del prodotto e la produttività complessiva della piattaforma.

L'obiettivo finale è realizzare una piattaforma modulare, scalabile e altamente automatizzabile, in grado di accelerare la produzione di template genetici per lo sviluppo di adiuvanti immunitari destinati a terapie a base di acidi nucleici. Il progetto contribuirà allo sviluppo di nuove tecnologie abilitanti per la medicina di precisione, rafforzando la capacità nazionale di sviluppare piattaforme innovative per applicazioni vaccinali, immunoterapiche e di risposta rapida a future emergenze sanitarie. Le conoscenze generate potranno inoltre essere trasferite verso applicazioni industriali nel settore della biomanifattura di acidi nucleici, favorendo la transizione verso processi continui, automatizzati e ad alta produttività.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività di ricerca sarà svolta presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, che dispone di laboratori e infrastrutture dedicate alla microfluidica, ai biomateriali, all'ingegneria di processo e alle biotecnologie. Il dottorando avrà accesso a laboratori attrezzati per la progettazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi microfluidici, comprendenti sistemi di stampa 3D ad alta risoluzione, strumentazione per soft lithography e prototipazione rapida, pompe di precisione,

sistemi di controllo dei flussi e della temperatura, microscopi ottici e a fluorescenza, spettrofotometri UV-Vis, fluorimetri, sistemi FTIR, DLS e strumentazione per la caratterizzazione morfologica e funzionale dei dispositivi sviluppati.

Per la progettazione del dispositivo saranno utilizzati software CAD e strumenti di simulazione multifisica e fluidodinamica computazionale (CFD), finalizzati all'ottimizzazione della distribuzione dei flussi, del trasferimento di calore e dei tempi di residenza all'interno dei reattori microfluidici. Le attività sperimentali saranno supportate da competenze consolidate del gruppo di ricerca nella progettazione di sistemi microfluidici, nell'ingegneria dei processi continui e nello sviluppo di piattaforme innovative per applicazioni biomedicali e biotecnologiche.

Il progetto potrà inoltre beneficiare di una consolidata rete di collaborazioni nazionali e internazionali sviluppata dal gruppo di ricerca. In ambito nazionale, è attiva una collaborazione con il CEINGE – Biotecnologie Avanzate "Franco Salvatore", che metterà a disposizione competenze avanzate nell'ambito della biologia molecolare, delle tecnologie genomiche e della validazione biomolecolare dei costrutti genetici sviluppati. Sul piano internazionale, il gruppo mantiene collaborazioni scientifiche con istituzioni accademiche europee ed extraeuropee attive nei settori della microfluidica, della bioingegneria, delle biotecnologie e delle tecnologie per gli acidi nucleici, favorendo lo scambio di competenze, la mobilità del dottorando e la realizzazione di attività congiunte.

Le competenze multidisciplinari disponibili, unite alla disponibilità di infrastrutture sperimentali e di una rete internazionale di collaborazioni, garantiscono un ambiente di ricerca altamente qualificato e idoneo allo sviluppo del progetto, favorendo sia la formazione scientifica del dottorando sia il trasferimento dei risultati verso applicazioni industriali nel settore della biomanifattura e delle tecnologie per terapie a base di acidi nucleici.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo di ricerca all'estero della durata indicativa di 3–6 mesi presso un centro di eccellenza internazionale attivo nei settori della microfluidica, della biomanifattura e delle tecnologie per gli acidi nucleici. In particolare, il dottorando potrà svolgere un periodo di formazione presso il gruppo del Prof. Andrew J. deMello presso il Department of Chemistry and Applied Biosciences dell'ETH Zürich (Svizzera), leader internazionale nello sviluppo di tecnologie microfluidiche per applicazioni bioanalitiche, diagnostiche e di bioprocesso.

Il soggiorno sarà finalizzato all'acquisizione di competenze avanzate nella progettazione e ottimizzazione di dispositivi microfluidici ad alta produttività, nella caratterizzazione fluidodinamica e termica di sistemi continuous-flow e nello sviluppo di piattaforme integrate per processi biotecnologici. Il dottorando avrà inoltre l'opportunità di utilizzare infrastrutture sperimentali e strumentazioni altamente specializzate, partecipando alle attività scientifiche del gruppo ospitante e rafforzando la collaborazione internazionale già esistente tra i due gruppi di ricerca.

Il periodo all'estero rappresenterà un'importante opportunità di crescita scientifica e professionale, favorendo il trasferimento di conoscenze, lo sviluppo di competenze multidisciplinari e la creazione di future collaborazioni internazionali nell'ambito delle tecnologie microfluidiche per la produzione di acidi nucleici e applicazioni biomediche.

31) Proponent: Prof. Pier Luca Maffettone- DICMAPI - ENG**Proposed research topic: Development of a High-Throughput Self-Digitizing Microfluidic Platform for mRNA vaccines****Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering X Technologies and Production Systems****Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)**

Messenger RNA (mRNA)-based therapeutics have emerged as one of the most promising classes of advanced medicinal products, finding applications in prophylactic vaccines, cancer immunotherapy, protein replacement therapies, and gene editing. As manufacturing processes continue to evolve toward large-scale and continuous production, rapid, sensitive, and standardized analytical technologies are becoming increasingly important to ensure product quality, process reproducibility, and regulatory compliance. Among currently available analytical methods, reverse transcription digital PCR (RT-dPCR) provides absolute nucleic acid quantification with superior sensitivity and precision compared with conventional quantitative PCR. However, existing commercial digital PCR platforms rely on complex droplet generation systems or proprietary microfluidic cartridges, requiring dedicated instrumentation, expensive consumables, and laboratory-based workflows that limit their integration into manufacturing environments.

This research project aims to develop an innovative self-digitizing microfluidic RT-dPCR platform for rapid and high-throughput quality control of mRNA therapeutics. The key innovation will consist of a passive microfluidic architecture capable of autonomously partitioning samples into thousands of isolated microreactors without the need for external droplet generators, active valves, or complex pumping systems. The proposed device will combine simplified sample loading, high partitioning efficiency, excellent thermal uniformity, and automated fluorescence readout within a compact and scalable platform suitable for decentralized and manufacturing-oriented applications.

The research activities will include computational fluid dynamics (CFD) simulations for optimizing the self-digitization process, the design and fabrication of microfluidic prototypes using advanced manufacturing technologies, optimization of chamber geometry and thermal management, integration of reverse transcription and digital PCR protocols within the microfluidic device, and development of automated image analysis algorithms for absolute nucleic acid quantification. Experimental validation will be performed using synthetic RNA standards and representative mRNA therapeutic constructs to assess analytical performance, reproducibility, sensitivity, and throughput.

The final objective is to establish a modular, scalable, and cost-effective analytical platform capable of supporting next-generation manufacturing of mRNA therapeutics through rapid in-process monitoring and quality control. The proposed technology has the potential to simplify digital PCR workflows, reduce analytical costs, increase process automation, and facilitate technology transfer toward industrial biomanufacturing. Beyond mRNA therapeutics, the developed platform may be extended to quality control of DNA-based therapeutics, self-amplifying RNA, circular RNA, and other advanced nucleic acid products, contributing to the development of innovative analytical technologies for precision medicine and future biopharmaceutical manufacturing.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The research activities will be carried out at the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II, which provides state-of-the-

art laboratories and infrastructure dedicated to microfluidics, biomaterials, process engineering, and biotechnology. The PhD candidate will have access to laboratories equipped for the design, fabrication, and characterization of advanced microfluidic devices, including high-resolution 3D printing systems, microfabrication facilities, precision fluid handling systems, temperature-controlled platforms, optical and fluorescence microscopy, UV–Vis spectrophotometry, fluorescence spectroscopy, FTIR spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), and instrumentation for the structural and functional characterization of polymeric and microfluidic systems.

The development of the proposed RT-dPCR platform will be supported by computer-aided design (CAD) software and computational fluid dynamics (CFD) tools for the optimization of microfluidic architectures, heat transfer, sample partitioning, and thermal cycling. Experimental activities will also benefit from the Department's expertise in continuous-flow technologies, microreactor engineering, advanced manufacturing, and analytical device development.

The project will take advantage of an established network of national and international collaborations. At the national level, collaboration with CEINGE – Advanced Biotechnologies "Franco Salvatore" will provide expertise in molecular biology, nucleic acid analysis, RT-PCR methodologies, and validation of the developed analytical platform using biologically relevant RNA samples. Internationally, the research group maintains active collaborations with leading academic institutions in the fields of microfluidics, bioengineering, and nucleic acid technologies. In particular, collaboration with the group of Prof. Andrew J. deMello at ETH Zürich (Switzerland) will provide expertise in high-throughput microfluidic systems, lab-on-a-chip technologies, and continuous-flow analytical platforms. In addition, collaboration with the group of Prof. Amy Shen at the Okinawa Institute of Science and Technology (OIST), Japan, internationally recognized for pioneering research in droplet microfluidics, microfluidic transport phenomena, and lab-on-a-chip engineering, will provide complementary expertise in advanced microfluidic device design, multiphase microflows, and high-performance analytical microfluidic platforms.

The combination of advanced research infrastructure, multidisciplinary expertise, and strong national and international collaborations will provide an outstanding research environment for the PhD candidate, supporting the development of innovative microfluidic technologies for next-generation nucleic acid analysis and quality control of advanced RNA therapeutics.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A research period abroad of approximately 3–6 months is planned during the PhD programme to strengthen the candidate's expertise in advanced microfluidics and digital PCR technologies. The primary destination will be the research group of Prof. Andrew J. deMello at the Department of Chemistry and Applied Biosciences, ETH Zürich (Switzerland), an internationally recognized leader in microfluidics, lab-on-a-chip technologies, and high-throughput analytical systems. The research stay will focus on the design, optimization, and characterization of advanced self-digitizing microfluidic platforms, computational modelling of microfluidic architectures, and integration of analytical workflows for nucleic acid detection.

In addition, a shorter research visit may be carried out in the laboratory of Prof. Amy Shen at the Okinawa Institute of Science and Technology (OIST), Japan, to gain complementary expertise in droplet microfluidics, multiphase flow physics, passive microfluidic architectures, and advanced microfluidic device engineering. This experience will contribute to the optimization of the self-partitioning strategy and the overall performance of the proposed RT-dPCR platform.

The international mobility programme will provide the PhD candidate with advanced multidisciplinary training, access to world-class research facilities, and opportunities to establish long-term scientific collaborations in microfluidics, analytical biotechnology, and nucleic acid technologies, significantly enhancing the scientific impact and translational potential of the

proposed research.

ITA

Proponente: Prof. Pier Luca Maffettone-DICMAPI

Tematica di ricerca proposta: Sviluppo di una piattaforma microfluidica RT-dPCR self-digitizing ad alta produttività per terapie a base di mRNA

Curriculum di riferimento:

Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Ingegneria chimica X

Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Le terapie a base di RNA messaggero (mRNA), comprendenti vaccini, immunoterapie oncologiche e prodotti per la medicina di precisione, rappresentano una delle principali innovazioni nel settore biofarmaceutico. La crescente diffusione di queste tecnologie ha evidenziato la necessità di sviluppare metodologie analitiche sempre più sensibili, rapide e automatizzabili per il controllo qualità durante le diverse fasi della produzione. Attualmente, la quantificazione e la caratterizzazione degli acidi nucleici vengono effettuate mediante tecniche quali RT-qPCR, elettroforesi capillare, sistemi Bioanalyzer e digital PCR (dPCR). Tra queste, la RT-dPCR rappresenta il riferimento per la quantificazione assoluta degli acidi nucleici grazie all'elevata sensibilità, precisione e capacità di rilevare target a bassissima concentrazione. Tuttavia, le piattaforme commerciali oggi disponibili richiedono sistemi complessi per la generazione di droplets o cartucce proprietarie, con costi elevati, limitata flessibilità progettuale e scarsa integrazione nei processi di biomanifattura.

Il progetto si propone di sviluppare una piattaforma microfluidica innovativa RT-dPCR self-digitizing ad elevata produttività, progettata per suddividere automaticamente il campione in migliaia di microreattori indipendenti senza l'impiego di generatori di droplets, valvole attive o sistemi di pompaggio complessi. L'obiettivo è realizzare un dispositivo semplice, scalabile e altamente automatizzabile, capace di eseguire la quantificazione assoluta di RNA e DNA con elevata accuratezza e riproducibilità, riducendo tempi di analisi, consumo di reagenti e costi operativi.

Le attività di ricerca comprenderanno la progettazione della piattaforma mediante simulazioni fluidodinamiche computazionali (CFD), lo sviluppo di architetture microfluidiche innovative per il self-partitioning del campione, la fabbricazione dei prototipi attraverso tecnologie di microfabbricazione e manifattura additiva, l'ottimizzazione della gestione termica e dell'uniformità di amplificazione, nonché l'integrazione dei protocolli di reverse transcription e digital PCR all'interno del dispositivo. Saranno inoltre sviluppati algoritmi di analisi automatica delle immagini fluorescenti per il conteggio delle microcamere positive e la quantificazione assoluta degli acidi nucleici mediante analisi statistica.

La piattaforma verrà validata utilizzando standard sintetici e costrutti rappresentativi di terapie a base di mRNA, valutandone sensibilità, accuratezza, riproducibilità, throughput e robustezza. L'obiettivo finale è realizzare una piattaforma modulare, economicamente sostenibile e facilmente integrabile nei processi di controllo qualità delle nuove terapie a base di acidi nucleici. Oltre alle applicazioni nel settore dei vaccini e delle terapie a mRNA, la tecnologia sviluppata potrà essere estesa al controllo qualità di prodotti a DNA, RNA autoamplificante (saRNA), RNA circolare (circRNA) e ad altre piattaforme biotecnologiche avanzate, contribuendo allo sviluppo di strumenti innovativi per la medicina di precisione e la biomanifattura del futuro.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta,

collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività di ricerca sarà svolta presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMAPI) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, che dispone di laboratori e infrastrutture dedicate alla microfluidica, all'ingegneria di processo, ai biomateriali e alle biotecnologie. Il dottorando avrà accesso a laboratori attrezzati per la progettazione, fabbricazione e caratterizzazione di dispositivi microfluidici avanzati, comprendenti sistemi di stampa 3D ad alta risoluzione, tecnologie di microfabbricazione e prototipazione rapida, sistemi di movimentazione e controllo dei fluidi, piattaforme per il controllo termico, microscopi ottici e a fluorescenza, spettrofotometri UV-Vis, fluorimetri, sistemi FTIR, DLS e strumentazione per la caratterizzazione strutturale e funzionale dei dispositivi sviluppati.

La progettazione e l'ottimizzazione della piattaforma RT-dPCR saranno supportate da software CAD e strumenti di simulazione fluidodinamica computazionale (CFD) per lo studio della distribuzione dei flussi, del trasferimento di calore, del processo di self-partitioning e dei cicli termici all'interno del dispositivo microfluidico. Le attività sperimentali beneficeranno inoltre delle consolidate competenze del gruppo di ricerca nello sviluppo di sistemi lab-on-a-chip, microreattori, tecnologie continuous-flow e piattaforme microfluidiche per applicazioni biomediche e biotecnologiche.

Il progetto potrà inoltre beneficiare di una consolidata rete di collaborazioni nazionali e internazionali. In ambito nazionale, è attiva una collaborazione con il CEINGE – Biotecnologie Avanzate "Franco Salvatore", che metterà a disposizione competenze avanzate nella biologia molecolare, nell'analisi degli acidi nucleici, nelle metodologie RT-PCR e nella validazione biologica della piattaforma sviluppata. Sul piano internazionale, il gruppo di ricerca collabora con il Prof. Andrew J. deMello presso l'ETH Zürich (Svizzera), punto di riferimento mondiale nello sviluppo di tecnologie microfluidiche, sistemi lab-on-a-chip e piattaforme analitiche ad alta produttività. Ulteriore supporto scientifico sarà garantito dalla collaborazione con la Prof.ssa Amy Shen presso l'Okinawa Institute of Science and Technology (OIST, Giappone), riconosciuta a livello internazionale per le sue ricerche sulla microfluidica, sui flussi multifase e sulla progettazione di dispositivi microfluidici innovativi.

La disponibilità di infrastrutture sperimentali avanzate, competenze multidisciplinari e collaborazioni con centri di eccellenza nazionali e internazionali garantirà al dottorando un ambiente di ricerca altamente qualificato, favorendo lo sviluppo di tecnologie microfluidiche innovative per l'analisi quantitativa degli acidi nucleici e il controllo qualità di prodotti biotecnologici di nuova generazione.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo di ricerca all'estero della durata indicativa di 3–6 mesi nel corso del percorso di dottorato, finalizzato al consolidamento delle competenze del dottorando nei settori della microfluidica avanzata e delle tecnologie di digital PCR. La principale sede ospitante sarà il gruppo del Prof. Andrew J. deMello presso il Department of Chemistry and Applied Biosciences dell'ETH Zürich (Svizzera), riconosciuto a livello internazionale come uno dei principali centri di eccellenza nel campo della microfluidica, delle tecnologie lab-on-a-chip e dei sistemi analitici ad alta produttività. Durante il soggiorno il dottorando approfondirà la progettazione, l'ottimizzazione e la caratterizzazione di piattaforme microfluidiche self-digitizing, la modellazione fluidodinamica mediante simulazioni CFD e l'integrazione di sistemi microfluidici per l'analisi quantitativa di acidi nucleici.

È inoltre previsto un breve periodo di ricerca presso il laboratorio della Prof.ssa Amy Shen dell'Okinawa Institute of Science and Technology (OIST, Giappone), centro di riferimento internazionale per la microfluidica, i flussi multifase e la progettazione di dispositivi microfluidici

innovativi. Tale esperienza consentirà al dottorando di acquisire competenze avanzate nella progettazione di sistemi di self-partitioning, nella fisica dei flussi microfluidici e nello sviluppo di piattaforme analitiche ad elevata efficienza, contribuendo all'ottimizzazione del dispositivo RT-dPCR oggetto del progetto.

Il periodo di mobilità internazionale rappresenterà un'importante opportunità di formazione scientifica e professionale, favorendo l'accesso a infrastrutture di ricerca di eccellenza, il trasferimento di competenze multidisciplinari e il consolidamento di collaborazioni scientifiche internazionali nei settori della microfluidica, delle biotecnologie analitiche e delle tecnologie per gli acidi nucleici.

32) Proponents: Giuseppe Mensitieri, Martina Salzano de Luna - ENG

Proposed research topic: Thermodynamic modeling of biopolymer-based polyelectrolyte hydrogels for water pollutant removal

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives)

This project aims to develop an advanced modeling framework based on the Electrolyte Perturbed-Chain Statistical Associating Fluid Theory (ePC-SAFT) to quantitatively describe multicomponent systems involving biopolymer polyelectrolyte hydrogels in aqueous electrolyte solutions. The model will account for polymer architecture, ionization degree, electrostatic interactions, hydrogen bonding, and specific polymer-solute interactions, enabling the prediction of hydrogel swelling and contaminant adsorption under varying environmental conditions.

The study will focus on naturally derived polyelectrolytes, including alginate, chitosan, cellulose derivatives. Experimental measurements of swelling, water uptake, adsorption equilibria, and ion partitioning will support parameter estimation and model validation. The validated framework will then be applied to predict hydrogel performance as a function of pH, ionic strength, electrolyte composition, and contaminant concentration. By integrating statistical thermodynamics with experimental characterization, the project aims to elucidate the molecular mechanisms governing selective adsorption and provide a predictive tool for the rational design of next-generation sustainable hydrogel adsorbents, reducing reliance on time-consuming trial-and-error approaches and supporting the development of efficient materials for advanced water purification.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The research activities will be carried out within the laboratories of the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMaPI), where extensive expertise is available in polymer science, biopolymer processing, hydrogel synthesis, adsorption phenomena, rheology, spectroscopy, microscopy, and advanced physicochemical characterization. The computational activity will exploit advanced thermodynamic modeling tools and numerical optimization software for the implementation and parameterization of ePC-SAFT models.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The PhD project will include a research period of at least six months abroad at an internationally recognized leading research group in the development of the pePC-SAFT model (Technische Universität Dortmund, TU Dortmund).

ITA

Proponente: Giuseppe Mensitieri, Martina Salzano de Luna

Tematica di ricerca proposta: Modellazione termodinamica di idrogel polielettrolitici a base di biopolimeri per la rimozione di contaminanti dalle acque

Curriculum di riferimento:

Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

Il progetto si propone di sviluppare un avanzato modello termodinamico basato sulla teoria **Electrolyte Perturbed-Chain Statistical Associating Fluid Theory (ePC-SAFT)** per descrivere quantitativamente sistemi multicomponente costituiti da idrogel polielettrolitici a base di

biopolimeri in soluzioni acquose contenenti elettroliti. Il modello terrà conto dell'architettura del polimero, del grado di ionizzazione, delle interazioni elettrostatiche, dei legami a idrogeno e delle specifiche interazioni polimero-soluto, consentendo di prevedere il rigonfiamento degli idrogel e l'adsorbimento dei contaminanti al variare delle condizioni ambientali. Lo studio si concentrerà su polielettroliti di origine naturale, tra cui alginato, chitosano e derivati della cellulosa. Misure sperimentali di rigonfiamento, assorbimento d'acqua, equilibri di adsorbimento e ripartizione degli ioni saranno utilizzate per la stima dei parametri del modello e per la sua validazione. Una volta validato, il modello sarà impiegato per prevedere le prestazioni degli idrogel in funzione del pH, della forza ionica, della composizione dell'elettrolita e della concentrazione dei contaminanti. Integrando la termodinamica statistica con la caratterizzazione sperimentale, il progetto mira a chiarire i meccanismi molecolari che regolano l'adsorbimento selettivo e a fornire uno strumento predittivo per la progettazione razionale di una nuova generazione di idrogel sostenibili per l'adsorbimento, riducendo la dipendenza da approcci sperimentali basati sul tentativo ed errore e favorendo lo sviluppo di materiali efficienti per la depurazione avanzata delle acque.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Le attività di ricerca saranno svolte presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMaPI), dove sono disponibili competenze consolidate nel campo della scienza dei polimeri, della lavorazione dei biopolimeri, della sintesi di idrogel, dei fenomeni di adsorbimento, della reologia, della spettroscopia, della microscopia e della caratterizzazione fisico-chimica avanzata dei materiali. Le attività di modellazione computazionale si avvarranno di strumenti avanzati per la modellazione termodinamica e di software di ottimizzazione numerica per l'implementazione e la parametrizzazione dei modelli ePC-SAFT.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il progetto di dottorato prevede un periodo di ricerca all'estero della durata di almeno sei mesi presso un gruppo di ricerca di riconosciuto prestigio internazionale nello sviluppo del modello ePC-SAFT, presso la Technische Universität Dortmund (TU Dortmund, Germania). Durante tale periodo, il/la dottorando/a collaborerà allo sviluppo e all'applicazione del modello termodinamico, acquisendo competenze avanzate nella modellazione molecolare di sistemi complessi contenenti polielettroliti ed elettroliti.

33) Proponente: Prof. Tullio Monetta - ITA

Tematica di ricerca proposta: Processi elettrochimici a ridotto impatto ambientale per modifica superficiale dei materiali metallici

Curriculum di riferimento: Tecnologie e sistemi di produzione

Breve descrizione della proposta progettuale

L'obiettivo del progetto è di utilizzare elettroliti a ridotto impatto ambientale per la modifica superficiale elettrochimica dei materiali metallici. In particolare, è quello di valutare l'efficacia dei Deep Eutectic Solvents, al variare dei parametri operativi utilizzati nella cella elettrochimica, per ottenere un grado di finitura superficiale che ottimizzi le caratteristiche di resistenza a corrosione, topografiche, meccaniche, chimiche del dispositivo sottoposto al trattamento.

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

La modifica superficiale dei materiali metallici costituisce una fase determinante per migliorarne la resistenza alla corrosione, la finitura topografica, le proprietà meccaniche superficiali, l'adesione di rivestimenti e, più in generale, la loro affidabilità in esercizio. Varie tipologie di metodi, come ad es. processi meccanici, chimici, termici e fisici possono essere utilizzati per modificare le proprietà dello strato più esterno dei materiali metallici. La loro efficacia dipende dalla natura del substrato, dai parametri di processo e dall'uniformità del trattamento, soprattutto nel caso di geometrie complesse. Essi, rispetto ai processi elettrochimici, possono richiedere maggiori consumi energetici, temperature elevate o l'impiego di sostanze a rilevante impatto ambientale. Anche i processi elettrochimici convenzionali impiegano, spesso, elettroliti contenenti sostanze che presentano elevate criticità ambientali, problemi di sicurezza per gli operatori e costi elevati per il trattamento dei reflui. In tale contesto, i Deep Eutectic Solvents (DES) rappresentano una classe di elettroliti di particolare interesse. Essi sono ottenuti dalla combinazione di opportuni donatori e accettori di legame a idrogeno e presentano proprietà chimico-fisiche modulabili in funzione della composizione. La bassa volatilità, l'elevata capacità solvente e la possibilità di controllare conducibilità, viscosità e finestra elettrochimica ne rendono vantaggioso l'impiego nei processi di dissoluzione anodica, elettrolucidatura, elettrodeposizione e conversione superficiale.

L'applicazione di tali sistemi è particolarmente rilevante per i componenti metallici prodotti mediante Additive Manufacturing, come acciai inossidabili, leghe di titanio, alluminio, nichel e cobalto-cromo, etc.. Questi ultimi, infatti, presentano elevata rugosità, particelle parzialmente fuse, porosità, disomogeneità microstrutturali e tensioni residue. Tali caratteristiche possono favorire l'innescare di fenomeni corrosivi, ridurre la resistenza a fatica e compromettere la funzionalità del componente, rendendo necessario lo sviluppo di trattamenti di finitura controllati, uniformi e compatibili con geometrie complesse.

Programma delle attività

Il progetto prevede, in una prima fase, la selezione dei materiali metallici e delle condizioni superficiali maggiormente rappresentative delle applicazioni di interesse. Saranno quindi utilizzati elettroliti a ridotto impatto ambientale, con particolare riferimento ai Deep Eutectic Solvents, per eseguire trattamenti di dissoluzione anodica, elettrolucidatura e modifica elettrochimica controllata.

Le prove saranno condotte variando i principali parametri operativi della cella, tra cui composizione dell'elettrolita, temperatura, densità di corrente, potenziale applicato, tempo di trattamento, distanza tra gli elettrodi, condizioni idrodinamiche e modalità di polarizzazione continua o pulsata. L'efficacia dei trattamenti sarà valutata attraverso tecniche di caratterizzazione morfologica, topografica, chimica e strutturale. Saranno inoltre analizzate la rugosità, la durezza superficiale, la bagnabilità, la resistenza all'usura, la stabilità dello strato modificato e il comportamento a corrosione mediante prove elettrochimiche e di esposizione.

Obiettivi

L'obiettivo generale del progetto è quello di definire processi elettrochimici sostenibili e riproducibili per la modifica superficiale dei materiali metallici. In particolare, il progetto mira a valutare l'efficacia dei Deep Eutectic Solvents nel conseguire un grado di finitura capace di

ottimizzare simultaneamente la resistenza alla corrosione e le caratteristiche topografiche, meccaniche e chimiche dei componenti trattati. Il risultato atteso è l'individuazione di finestre operative affidabili, di correlazioni tra parametri di processo e prestazioni superficiali e di criteri utili al successivo trasferimento del trattamento verso applicazioni industriali.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il laboratorio *SEED Lab* (Surface Engineering for Eco-Design Lab) è equipaggiato con tutte le apparecchiature necessarie per raggiungere lo scopo delle attività di ricerca del progetto.

In particolare, in relazione alla tematica proposta, esso dispone apparecchiature specifiche per lo studio e l'analisi dei materiali tra cui:

Strumenti	Funzione
Potenziostato - FRA	Analisi elettrochimiche in CC ed AC Potenziodimiche e di impedenza elettrochimica
Potenziostati – FRA master/slave	Analisi elettrochimiche in CC ed AC
Potenziostati – FRA master/slave	Analisi elettrochimiche in CC ed AC Potenziodimiche e di impedenza elettrochimica
Potenziostato - FRA	Analisi elettrochimiche in CC ed AC Potenziodimiche e di impedenza elettrochimica
Gabbia di Faraday	Schermatura celle elettrochimiche
DSC	Analisi termica materiali
Lappatrice	Preparazione campioni per analisi metallografica
Troncatrice	Taglio metallografico
Pull off adhesion tester	Misure di adesione vernici ISO 4624
Cross cut adhesion tester	Misure di adesione vernici ISO 2409:2020
Cappa Chimica	
pH-metro	
Microscopio a scansione elettronica (SEM) con EDX, Bruker Quantax 200 30mm ² , ET-SE LM-5SBSD HD e sonda LaB6	Analisi morfologica, metallografica e chimica, 3,0 nm a 30 kV.
Metallizzatore	Elettrodi di Platino
Stereo microscopio	Analisi ottica
Microscopio digitale	Analisi ottica, morfologica, rugosità
Spessimetro	Misure di spessore rivestimenti su substrati ferrosi e non ferrosi
Forno	350° C
Conduttivimetro	Prove di conducibilità
Precision Micro-ohmetro	Prove di resistenza superficiale
Distillatore	Produzione acqua distillata e demineralizzata
Barre filettate stendifilm	10-200 micron
Coltello triangolare stendifilm	10-200 micron
Coltelli stendifilm	0 – 1000 micron
Bagni termostatici	
Bagno ultrasuoni	Pulizia e condizionamento provini

Generatore tensione/corrente	$\pm 600\text{ V} - \pm 5.5\text{ A}$
Generatore tensione/corrente	$\pm 30\text{ V} - \pm 20\text{ A}$
Multimetro Fluke	Multimetro da tavolo
Elettrodi iono-sensibili	Misura concentrazione ioni in soluzione
Elettrodo solfato rame	
Angolo di contatto	Analisi di bagnabilità, misura tensione superficiale

Numerose sono le collaborazioni con enti di ricerca (Università Tor Vergata, Università di Terni, Politecnico di Milano, Università di Manchester (GB), Università di San Paolo (Brasile), Universiteit Leuven, (Belgio) ed Aziende (Laminazione Sottile, MBDA, Avio Aereo, Jindal, Siemens, Leonardo)

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il Dottorando potrà trascorrere un periodo di studi presso l'Università di Manchester (<https://www.manchester.ac.uk/>) uno dei migliori centri di ricerca del mondo nel settore dei Materiali con cui si intrattengono collaborazioni da numerosi anni. Solitamente si consiglia di utilizzare il periodo da trascorrere all'estero alla fine del secondo anno oppure all'inizio del terzo del corso di Dottorato.

ITA

Proposer: Prof. Tullio Monetta

Proposed Research Topic:

Metallic materials surface modification by using green electrochemical processes

Relevant Academic Background:

Production Technologies and Systems

Brief description of the project proposal

The project objective is to use low environmental impact electrolytes for the electrochemical surface modification of metallic materials evaluating the effectiveness of Deep Eutectic Solvents, by varying the operating parameters used in the electrochemical cell, to achieve a surface finish that optimizes the corrosion resistance, topographical, mechanical, and chemical properties of the samples.

Summary of the Research Project (state of the art, brief outline of planned activities and objectives)

Surface modification of metallic materials is a critical step in improving their corrosion resistance, topographic finish, surface mechanical properties, coating adhesion, and, more generally, their operational reliability. Various types of methods—such as mechanical, chemical, thermal, and physical processes—can be used to modify the properties of the outermost layer of metallic materials. Their effectiveness depends on the nature of the substrate, the process parameters, and the uniformity of the treatment, especially in the case of complex geometries. Compared to electrochemical processes, these methods may require higher energy consumption, elevated temperatures, or the use of substances with significant environmental impact. Conventional electrochemical processes, too, often use electrolytes containing substances that pose significant environmental concerns, safety risks for operators, and high costs for wastewater treatment. In this context, Deep Eutectic Solvents (DES) represent a class of electrolytes of particular interest. They are obtained by combining appropriate hydrogen-bond donors and acceptors and exhibit chemical and physical properties that can be tailored according to their composition. Their low volatility, high solvent capacity, and the ability to control conductivity, viscosity, and the electrochemical window make them advantageous for use in anodic dissolution, electropolishing, electrodeposition, and surface conversion processes.

The application of these systems is particularly relevant for metal components produced via Additive Manufacturing, such as stainless steels, titanium, aluminum, nickel, and cobalt-chromium

alloys, etc. These components, in fact, exhibit high surface roughness, partially fused particles, porosity, microstructural inhomogeneities, and residual stresses. These characteristics can promote the onset of corrosion, reduce fatigue strength, and compromise the functionality of the component, making it necessary to develop controlled, uniform finishing treatments that are compatible with complex geometries.

Activities

The project involves the selection of metallic materials and surface conditions that are most representative of the applications of interest. Electrolytes with a reduced environmental impact will then be used – with particular reference to Deep Eutectic Solvents – to carry out anodic dissolution, electropolishing and controlled electrochemical modification treatments.

The tests will be conducted by varying the main operating parameters of the cell, including electrolyte composition, temperature, current density, applied potential, treatment time, distance between the electrodes, hydrodynamic conditions and continuous or pulsed polarisation modes. The effectiveness of the treatments will be assessed using morphological, topographical, chemical and structural characterisation techniques. Roughness, surface hardness, wettability, wear resistance, stability of the modified layer and corrosion behaviour will also be analysed using electrochemical and exposure tests.

Objectives

The project objective is to establish sustainable and reproducible electrochemical processes for the surface modification of metallic materials. In particular, the project aims to assess the effectiveness of Deep Eutectic Solvents in achieving a surface finish capable of simultaneously optimising corrosion resistance and the topographical, mechanical and chemical characteristics of the treated components. The expected outcome is the identification of reliable operating windows, correlations between process parameters and surface performance, and criteria useful for the subsequent transfer of the treatment to industrial applications.

Activity Schedule

In the initial phase, the project involves selecting the metallic materials and surface conditions that are most representative of the applications of interest. Electrolytes with reduced environmental impact—with particular emphasis on Deep Eutectic Solvents—will then be used to perform electropolishing treatments and, more generally, controlled electrochemical modification in order to achieve treatments with a controlled chemical composition.

Tests will be conducted by varying the cell's main operating parameters, including electrolyte composition, temperature, current density, applied potential, treatment duration, electrode spacing, hydrodynamic conditions, and continuous or pulsed polarization. The effectiveness of the treatments will be evaluated using morphological, topographical, chemical, and structural characterization techniques. The following properties will then be analyzed: roughness, surface hardness, wettability, wear resistance, stability of the modified layer, and corrosion behavior through electrochemical testing.

Objectives

The project objective is to define sustainable and reproducible electrochemical processes for the surface modification of metallic materials. In particular, the project aims to evaluate the effectiveness of Deep Eutectic Solvents in achieving a surface finish capable of simultaneously optimizing corrosion resistance and the topographic, mechanical, and chemical characteristics of the treated components. The expected outcome is the identification of reliable operating windows, correlations between process parameters and surface performance, and criteria useful for the subsequent transfer of the treatment to industrial applications.

Summary information regarding: operational and scientific facilities (equipment, software, laboratories, etc.) available to the doctoral student for carrying out the proposed research, as well as collaborations with other Italian and international research institutions (and potentially with companies) that may be relevant to the proposed topic.

The SEED Lab (Surface Engineering for Eco-Design Lab) is equipped with all the necessary equipment to achieve the project's research objectives.

In particular, with regard to the proposed topic, it has specific equipment for the study and analysis of materials, including:

Instruments	Function
Potentiostat - FRA	DC and AC electrochemical analyses Electrochemical potentiometric and impedance measurements
Potentiostats – FRA master/slave	DC and AC electrochemical analysis
Potentiostats – FRA master/slave	Electrochemical Analysis in DC and AC Potentiometric and electrochemical impedance measurements
Potentiostat – FRA	Electrochemical Analysis in DC and AC Potentiometric and electrochemical impedance measurements
Faraday cage	Shielding of electrochemical cells
DSC	Thermal analysis of materials
Lapping machine	Sample preparation for metallographic analysis
Cutting machine	Metallographic cutting
Pull-off adhesion tester	Paint adhesion testing per ISO 4624
Cross-cut adhesion tester	Paint adhesion testing per ISO 2409:2020
Fume hood	
pH meter	
Scanning electron microscope (SEM) with EDX, Bruker Quantax 200 30 mm ² , ET-SE LM-5SBSD HD, and LaB6 probe	Morphological, metallographic, and chemical analysis, 3.0 nm at 30 kV.
Metalizer	Platinum Electrodes
Stereo microscope	Optical Analysis
Digital microscope	Optical, morphological, and roughness analysis
Thickness Gauge	Coating thickness measurements on ferrous and non-ferrous substrates
Oven	350°C
Conductivity meter	Conductivity tests
Precision Micro-ohmmeter	Surface resistance tests
Distiller	Production of Distilled and Demineralized Water
Threaded film-spreading bars	10–200 microns
Triangular film spreading knife	10–200 microns
Film spreading knives	0–1,000 microns
Thermostatic baths	
Ultrasonic bath	Sample cleaning and conditioning
Voltage/current generator	±600 V–±5.5 A
Voltage/Current Generator	±30 V – ±20 A
Fluke multimeter	Bench-top multimeter

Ion-sensitive electrodes	Measurement of ion concentration in solution
Copper sulfate electrode	
Contact angle	Wettability analysis, surface tension measurement

Collaborations with research institutions (Tor Vergata University, University of Terni, Milan Polytechnic, University of Manchester (UK), University of São Paulo (Brazil), KU Leuven (Belgium)) and companies (Laminazione Sottile, MBDA, Avio Aereo, Jindal, Siemens, Leonardo) has been

Summary information regarding any planned study abroad period for the Ph.D. candidate (duration, research group, university, research institution, etc.)

The Ph.D. student may spend a study period at the University of Manchester (<https://www.manchester.ac.uk/>), one of the world's leading research centers in the field of materials science, with which we have maintained a long-standing collaboration. It is generally recommended that the period abroad be taken at the end of the second year or at the beginning of the third year of the Ph.D. program.

34) Proponente: Prof.ssa Teresa Murino - ITA

Tematica di ricerca proposta: Metodi di ottimizzazione combinatoria e modelli Timetabling per la pianificazione e la gestione dei sistemi produttivi.

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

La crescente complessità dei contesti manifatturieri richiede strumenti di pianificazione capaci di coordinare risorse limitate, vincoli tecnologici, priorità produttive e variazioni della domanda. In questo ambito, il progetto propone di trasferire al settore industriale alcuni principi propri del Timetabling, basati sull'assegnazione di attività a specifiche risorse e intervalli temporali nel rispetto di requisiti obbligatori e criteri preferenziali.

La ricerca sarà finalizzata alla costruzione di modelli matematici per la programmazione di sistemi produttivi caratterizzati da differenti configurazioni operative. Saranno considerati, tra gli altri, la capacità degli impianti, la disponibilità di macchine e operatori, le relazioni di precedenza, i tempi di esecuzione e l'urgenza degli ordini.

In una prima fase verranno analizzati e confrontati i principali contributi scientifici sul Timetabling nei settori produttivi, con l'obiettivo di individuare nuovi possibili sviluppi metodologici. Su questa base saranno formulate diverse versioni del problema di ottimizzazione.

La risoluzione dei modelli prevederà il confronto tra metodi esatti, euristiche e metaeuristiche, valutandone l'efficacia in funzione della complessità e della dimensione dei casi considerati. Le attività sperimentali saranno condotte mediante simulazioni e applicazioni rappresentative di scenari manifatturieri.

Le prestazioni saranno misurate attraverso indicatori relativi all'impiego delle risorse, ai tempi di produzione, al rispetto delle consegne e alla stabilità delle soluzioni in presenza di eventi imprevisti.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività di ricerca sarà svolta utilizzando i laboratori disponibili presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMaPI) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Le attività di sviluppo, sperimentazione e analisi dei dati saranno condotte mediante l'impiego di software per la programmazione matematica e l'analisi dei dati (ad esempio ambienti Python, MATLAB, Gurobi).

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È possibile un periodo di ricerca all'estero, in coerenza con il piano formativo del dottorato, da svolgersi presso un gruppo di ricerca internazionale attivo sui temi di interesse del progetto. La sede, la durata e il periodo specifico del soggiorno saranno individuati e formalizzati nel corso del primo e/o secondo anno, in coordinamento con il Collegio dei Docenti e in funzione dell'avanzamento della sperimentazione condotta presso il DICMaPI.

ENG

Proponent: Prof. Teresa Murino

Proposed research topic: Combinatorial Optimisation Methods and Timetabling Models for the Planning and Management of Production Systems.

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering _Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

The growing complexity of manufacturing environments requires planning tools capable of coordinating limited resources, technological constraints, production priorities, and fluctuations in demand. Within this context, the project aims to adapt selected Timetabling principles to industrial applications. These principles are based on assigning activities to specific resources and time intervals while satisfying mandatory requirements and, as far as possible, preferential criteria.

The research will focus on developing mathematical models for scheduling production systems characterised by different operational configurations. The models will account for factors such as plant capacity, machine and workforce availability, precedence relationships, processing times, and order urgency.

The first stage of the project will involve reviewing and comparing the main scientific contributions concerning the application of Timetabling to production systems. The purpose will be to identify common modelling features and potential methodological developments. Based on this analysis, different formulations of the optimisation problem will be proposed.

The models will be solved by comparing exact methods, heuristic procedures, and metaheuristic approaches. Their effectiveness will be assessed according to the size and complexity of the problems considered. Experimental activities will be conducted through simulations and applications representing relevant manufacturing scenarios.

Performance will be evaluated using indicators related to resource utilisation, production lead times, delivery compliance, and the stability of the solutions when unexpected events occur.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The research activity will be carried out using the laboratories available at the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMaPI) of the University of Naples Federico II.

Development, experimental, and data-analysis activities will be conducted using software for mathematical programming and data analysis, such as Python, MATLAB, and Gurobi environments.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A research period abroad may be undertaken, consistently with the educational programme of the PhD course, at an international research group active in the relevant research fields.

The host institution, duration, and specific timing of the research stay will be identified and formally established during the first or second year according to the progress of the experimental activities conducted at DICMaPI.

35) Proponente: Prof.ssa Teresa Murino – ITA

Tematica di ricerca proposta: Innovazione dei processi produttivi tra intelligenza artificiale, vincoli normativi, sicurezza ed efficienza

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione

Sintesi del Progetto di Ricerca

L'innovazione dei processi produttivi, nell'ottica della smart industry, rappresenta un asse centrale della transizione verso il paradigma dell'Industria 5.0, che richiede di coniugare efficienza, sicurezza fisica dei lavoratori e conformità normativa con l'adozione di forme di intelligenza computazionale sempre più distribuite lungo la filiera produttiva. All'interno di questo scenario, il progetto si concentra sul superamento delle architetture di calcolo centralizzate a favore di un'intelligenza edge distribuita, capace di operare entro i vincoli temporali dei controllori logici programmabili (PLC) senza dipendere da infrastrutture cloud. I modelli linguistici di grandi dimensioni (LLM), pur efficaci come assistenti testuali, presentano limiti strutturali in termini di latenza, determinismo decisionale, consumo energetico e riservatezza dei dati quando applicati al controllo di processo in tempo reale. Il progetto propone di superare l'uso dell'intelligenza artificiale generativa come mero “copilota” testuale, per indagare, come caso di studio applicativo all'interno del più ampio tema dei processi produttivi, l'implementazione di microagenti decisionali decentralizzati eseguiti a bordo macchina su acceleratori hardware dedicati (Neural Processing Unit, NPU). Tali microagenti, dotati di autonomia di percezione, ragionamento e azione, saranno impiegati per analisi vibrazionale ad alta frequenza, diagnostica termica e calibrazione dinamica dei parametri di processo, con particolare attenzione ai rischi introdotti da comportamenti non deterministici dei modelli stocastici in ambienti fisici critici. L'attività sperimentale comprenderà la caratterizzazione di diverse classi di acceleratori NPU e framework agentici industriali, valutandone efficienza computazionale, latenza di inferenza e consumo energetico. Per l'esecuzione su dispositivi embedded a risorse limitate saranno applicate tecniche di compressione neurale (quantizzazione post-training, scomposizione tensoriale a basso rango, structured pruning), compensando l'eventuale perdita di accuratezza mediante quantization-aware training e knowledge distillation. Il sistema informativo aziendale sarà modellato in modo unitario, includendo anche i processi a bassa automazione (assemblaggio manuale, kitting, controllo qualità visivo) attraverso il concetto di “Connected Worker”: i flussi di lavoro saranno analizzati con tecniche di process mining su log applicativi, transazioni RFID/barcode e flussi video elaborati localmente su NPU, secondo lo standard ISA-95 (IEC 62264). L'interazione uomo-microagente sarà regolata da un'architettura Human-in-the-Loop basata su soglie di confidenza dinamiche, con inoltro della decisione all'operatore in caso di incertezza elevata. Un asse portante della ricerca riguarda la coesistenza tra logiche decisionali stocastiche e logiche di sicurezza deterministiche: sarà sviluppato un “Policy Engine” isolato sull'NPU che verifica ogni azione proposta rispetto all'involucro operativo sicuro della macchina, senza possibilità di scavalcare la logica di sicurezza cablata nel PLC. Il quadro normativo europeo (AI Act, Regolamento Macchine, IEC 62443, NIS2) sarà analizzato per definire i requisiti di conformità applicabili all'architettura proposta, con particolare attenzione al rischio di “modifica sostanziale” connesso agli aggiornamenti software dei microagenti. Gli obiettivi del triennio includono la caratterizzazione sperimentale delle piattaforme NPU disponibili, la progettazione di un banco di prova che integri sensoristica industriale, edge computing e logiche di sicurezza, e la definizione di metriche di affidabilità e conformità regolatoria per l'adozione industriale dei microagenti decisionali. I risultati attesi sono un'architettura di riferimento per l'integrazione sicura e conforme delle NPU nei processi produttivi e un insieme di linee guida per l'hardening cyber-fisico dei sistemi decentralizzati.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni

con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività di ricerca sarà svolta utilizzando i laboratori disponibili presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale (DICMaPI) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Le attività di sviluppo, sperimentazione e analisi dei dati saranno condotte esclusivamente mediante l'impiego di software open source (framework di machine learning ed edge computing, strumenti di elaborazione e analisi dei dati, librerie di simulazione), senza il ricorso a soluzioni software proprietarie a pagamento.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È possibile un periodo di ricerca all'estero, in coerenza con il piano formativo del dottorato, da svolgersi presso un gruppo di ricerca internazionale attivo sui temi dell'edge AI industriale, della cybersecurity OT o degli standard di integrazione ISA-95. La sede, la durata e il periodo specifico del soggiorno saranno individuati e formalizzati nel corso del primo anno, in coordinamento con il Collegio dei Docenti e in funzione dell'avanzamento della sperimentazione condotta presso il DICMaPI.

ENG

Proponent: Prof. Teresa Murino

Proposed research topic: Innovation of production processes between artificial intelligence, regulatory constraints, safety and efficiency

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

The innovation of production processes, from a smart industry perspective, is a central axis of the transition toward the Industry 5.0 paradigm, which requires combining efficiency, workers' physical safety and regulatory compliance with the adoption of increasingly distributed forms of computational intelligence along the production chain. Within this scenario, the project focuses on moving beyond centralized computing architectures in favor of distributed edge intelligence, able to operate within the timing constraints of programmable logic controllers (PLCs) without relying on cloud infrastructure. Large language models (LLMs), while effective as text-based assistants, present structural limitations in terms of latency, decision-making determinism, energy consumption and data confidentiality when applied to real-time process control. The project proposes to move beyond the use of generative AI as a mere text-based “copilot”, in order to investigate, as an applied case study within the broader theme of production processes, the implementation of decentralized decision-making microagents running directly on the machine, on dedicated hardware accelerators (Neural Processing Units, NPUs). These microagents, endowed with autonomy of perception, reasoning and action, will be employed for high-frequency vibration analysis, thermal diagnostics and dynamic calibration of process parameters, with particular attention to the risks introduced by non-deterministic behaviour of stochastic models in safety-critical physical environments. The experimental activity will include the characterization of different classes of NPU accelerators and industrial agentic frameworks, assessing computational efficiency, inference latency and energy consumption. For execution on resource-constrained embedded devices, neural compression techniques will be applied (post-training quantization, low-rank matrix decomposition, structured pruning), compensating for any resulting accuracy loss through quantization-aware training and knowledge distillation. The company information system will be modeled as a unitary entity, also including low-automation processes (manual assembly, kitting, visual quality control) through the “Connected Worker” concept: manual workflows will be analyzed using process mining techniques applied to application logs, RFID/barcode transactions and video streams processed locally on NPUs, according to the ISA-95 standard (IEC 62264). Human-microagent interaction will be governed by a Human-in-the-Loop architecture based on dynamic confidence thresholds, with the decision forwarded to the operator in case of high uncertainty. A central pillar of the research concerns the coexistence between stochastic decision-making logic and deterministic safety logic: a “Policy Engine” will be developed, running in an isolated environment on the NPU, which checks every action proposed by the microagent against the machine's Safe Operating Envelope, without any possibility of overriding the safety logic hard-wired into the PLC. The European regulatory framework (AI Act, Machinery Regulation, IEC 62443, NIS2) will be analyzed to define the compliance requirements applicable to the proposed architecture, with particular attention to the risk of “substantial modification” associated with software updates of the microagents. The objectives of the three-year programme include the experimental characterization of the available NPU platforms, the design of a testbed integrating industrial sensing, edge computing and safety logic, and the definition of reliability and regulatory-compliance metrics for the industrial adoption of decision-making microagents. The expected outcomes are a reference architecture for the safe and compliant integration of NPUs into production processes, together with a set of guidelines for the cyber-physical hardening of decentralized systems.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The research activity will be carried out using the laboratories available at the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMaPI) of the University of Naples Federico II. Development, experimentation and data-analysis activities will be carried out exclusively using open source software (machine learning and edge computing frameworks, data processing and analysis tools, simulation libraries), without recourse to proprietary paid software solutions.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A research period abroad is recommendable, consistent with the PhD programme's training plan, to be spent with an international research group active on industrial edge AI, OT cybersecurity or ISA-95 integration standards. The specific host institution, duration and timing of the stay will be defined and formalized during the first year, in coordination with the PhD Board and depending on the progress of the experimental work carried out at DICMaPI.

36) Proponent: Paolo A. Netti -IIT

Proposed research topic: Osteoarthritis-on-chip: development of cartilage-on-chip to study Osteoarthritis disease and its treatment

Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

Osteoarthritis (OA) is a degenerative joint disease characterized by the progressive breakdown of articular cartilage (AC) and subchondral bone, leading to pain and reduced mobility. Current in vitro AC models lack the ability to replicate the complex biomechanical environment of human joints, limiting their effectiveness in studying OA mechanisms and treatments.

The biomechanics of AC plays a crucial role in OA onset and progression. Chondrocytes, the primary AC cells, sense and respond to mechanical stimuli, such as compression and shear stress, by regulating their anabolic and catabolic activity. In healthy joints, cyclic mechanical compression during routine activities like walking preserves cartilage homeostasis, stimulates extracellular matrix (ECM) production (including glycosaminoglycans and type II collagen), and reduces inflammation by modulating pro-inflammatory cytokines. Conversely, abnormal or excessive mechanical loading disrupts cartilage integrity, increasing catabolism, inflammation, hypertrophy, and triggering gene expression patterns typical of OA.

Importantly, the effects of mechanical loading depend on specific parameters such as its frequency and amplitude. For instance, cyclic compression at 1 Hz with 15% strain enhances chondrogenesis and ECM production, whereas static or low-frequency loads inhibit cartilage health. Therefore, replicating these dynamic mechanical environments in vitro is essential to better understand OA pathophysiology and to develop effective, targeted treatments.

This project proposes the development of a microfluidic chip capable of applying controlled cyclic compression to engineered AC tissues, under both physiological and pathological (OA-like) conditions. The system will allow precise modulation of mechanical parameters (frequency, amplitude, duration) to mimic healthy and OA-specific joint environments.

Dual Application:

- (i) **Personalized Biomechanical Therapy:** The chip will generate dose-response data by testing various cyclic compression regimes. These data will feed into a robotic system designed to administer personalized, non-invasive biomechanical therapies to OA patients, optimizing mechanical stimulation for cartilage repair and symptom relief.
- (ii) **Viscosupplementation Assessment:** The chip will also serve as a platform to evaluate viscosupplementation strategies, where viscous nanogels are introduced into the OA model. These gels are intended to absorb excessive mechanical loads, protecting cartilage from hyper-physiological stress and potentially mitigating OA progression.

By integrating physiopathological OA models with advanced microfluidic technology, this project aims to deepen understanding of OA biomechanics, optimize therapeutic interventions, and support the development of personalized treatment strategies. Ultimately, this work could enhance OA management by providing innovative tools for physiotherapists and clinicians, improving therapy precision through a combination of robotics, biomaterials, and tissue engineering.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD work will be carried out at the Centre for Advanced Biomaterials for Health Care of the Italian Institute of Technology in Naples. The center is equipped with cutting-edge instrumentation enabling tissue culture and growth, micro and nano-fabrication of microfluidic devices, along with state-of-art cell culture facilities for in vitro testing and organotypic tissue fabrication. Furthermore, the laboratory include microscopy and spectral microscopy facilities for cell and material imaging and cell-material interface characterization.

Collaboration with national and international laboratories are foreseen including prof. Paolo Decuzzi, IIT and Stanford University, Dr Mattero Laffranchi, IIT Genova and Biomechanics group at Griffith University.

Brief information relating to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A period abroad of at least 6 months will be programmed.

37) Proponente: Paolo Netti

Tematica di ricerca proposta: Microfluidic Biofabrication of Recombinant Collagen Microparticles for Precision Embolization Therapies

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Transcatheter embolization has become one of the most effective minimally invasive procedures for the treatment of vascular malformations, hemorrhages and hypervascular tumors. The success of embolization critically depends on the availability of embolic agents capable of providing predictable vessel occlusion while maintaining excellent biocompatibility, controlled degradability and reproducible delivery characteristics. Current embolic materials, including polymeric microspheres and permanent synthetic particles, often present important limitations related to poor biodegradability, limited biological integration and insufficient control over their mechanical response after implantation. Naturally derived biomaterials represent an attractive alternative owing to their intrinsic biocompatibility and capacity to undergo physiological remodeling. Among them, recombinant collagen offers unique advantages because of its controlled composition, absence of animal-derived contaminants and tunable crosslinking chemistry. However, current manufacturing methods are unable to produce collagen microparticles with the dimensional accuracy, monodispersity and mechanical reproducibility required for endovascular embolization.

This PhD project aims to develop an advanced microfluidic manufacturing platform for the scalable production of monodisperse recombinant collagen microparticles specifically designed for precision embolization therapies. The project will investigate the interplay between microfluidic droplet generation, collagen self-organization and crosslinking kinetics to establish quantitative relationships between manufacturing parameters and particle functional properties.

A T-junction microfluidic platform will be optimized to generate highly monodisperse collagen droplets with diameters ranging from 100 to 300 μm by controlling flow conditions, pressure ratios, collagen concentration and surfactant composition. Particular attention will be devoted to understanding droplet formation mechanisms and process stability in order to achieve reproducible particle production suitable for clinical translation. Subsequently, innovative enzymatic and carbodiimide-mediated crosslinking strategies will be integrated within the microfluidic process to precisely regulate particle stiffness, degradation kinetics and structural stability while preserving the biological properties of collagen. The produced microparticles will undergo comprehensive morphological, physicochemical and mechanical characterization using advanced microscopy, image analysis, rheological testing and compression measurements. Their injectability, dimensional stability and embolization performance will be evaluated under physiologically relevant flow conditions using microfluidic vascular models reproducing clinically relevant vessel geometries. Finally, the relationships between particle size, mechanical compliance and vascular occlusion efficiency will be established to define rational design criteria for next-generation bioresorbable embolic agents.

The project integrates biomaterials engineering, microfluidics, transport phenomena and interventional medicine within a highly interdisciplinary research framework. Beyond embolization therapies, the developed manufacturing platform may be extended to the production of injectable biomaterial microparticles for drug delivery, regenerative medicine and minimally invasive therapeutic applications. By combining precise microfluidic manufacturing with biologically derived materials, this research aims to establish a new generation of customizable embolic systems characterized by improved safety, reproducibility and clinical performance.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research activity will be carried out at the Interdepartmental Research Centre on Biomaterials (CRIB) and the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II. The candidate will have access to state-of-the-art facilities for biomaterials synthesis, microfluidic fabrication, soft lithography, advanced microscopy (optical, confocal and scanning electron microscopy), rheological and mechanical characterization, image analysis and cell culture. The project will benefit from collaborations with university of Sannio and clinicians specialized in interventional radiology and vascular surgery for the definition of clinical requirements and the validation of embolization strategies, as well as with industrial partners active in biomaterials and medical device development.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

A research period of at least six months will be carried out at an internationally recognized institution with expertise in biomicrofluidics, biomaterials or interventional medicine. The mobility period will provide advanced training in microfluidic manufacturing technologies, biomaterial characterization and translational research, strengthening the international profile of the candidate and promoting collaborations aimed at the clinical translation of the developed embolic platform..

38) Proposer: Ilaria Papa - ENG

Proposed Research Topic: Innovative Technologies for the Recovery and Reuse of Carbon Fiber Prepregs via Cryogenic Cutting and Compression Molding for Sustainable Structural Applications

Relevant Academic Background: Production Technologies and Systems

Title

Innovative Technologies for the Cryogenic Recovery and Reuse of Carbon Fiber Prepreg Scrap for the Production of High-Performance Composite Components

Summary of the Research Project (state of the art, brief outline of planned activities and objectives)

Carbon fiber composite materials represent one of the key enabling technologies in the aerospace, automotive, marine, and industrial design sectors due to their high strength-to-weight ratio. However, the growing use of thermosetting prepregs results in the production of large quantities of scrap generated during cutting and lamination operations. Although these materials still retain the characteristics of the original prepreg, they are generally disposed of, with significant environmental and economic impacts.

In recent years, numerous studies have focused on the recycling of already cured composites using mechanical, thermal, and chemical processes; however, research dedicated to the direct recovery of uncured prepreg scraps remains very limited. In particular, there is a lack of methodologies capable of simultaneously preserving fiber length, matrix distribution, and the subsequent consolidation capacity of the recovered material.

The proposed research is part of the FIS SPRInT project (**Innovative Recovery Technology of Prepreg Scraps Used for Composite Materials**) and aims to develop an innovative recovery technology based on cryogenic cutting of prepreg scraps, with the goal of producing new composite components via compression molding.

The project initially involves an in-depth analysis of the state of the art regarding prepreg recovery technologies, the effects of cryogenic cutting on the morphology of the fibers and the polymer matrix, and the relationship between flake size, consolidation, and the mechanical properties of the recycled . Subsequently, experimental protocols will be developed to characterize the cryogenic cutting process, evaluating the influence of key process parameters on flake size distribution, fiber integrity, and matrix quality.

Particular attention will be devoted to studying the behavior of the flakes during the mold filling and consolidation phases, analyzing possible strategies to improve their packing and orientation. The resulting materials will be characterized through mechanical testing, microstructural analysis (SEM and microtomography), thermomechanical characterization (DSC and DMA), and porosity assessment.

This research will enable the development of new scientific knowledge on the direct recovery of uncured prepregs, contributing to the development of high-value-added circular economy processes for the composites sector.

Summary information regarding: operational and scientific facilities (equipment, software, laboratories, etc.) available to the doctoral student for carrying out the proposed research, as well as collaborations with other Italian and international research institutions (and potentially with companies) that may be relevant to the proposed topic.

The Ph.D. student will carry out the activities at the Department of Chemical, Materials, and Industrial Production Engineering at the University of Naples Federico II.

The following will be available:

- a laboratory for processing composite materials;
- a cryogenic cutting facility (as part of the SPRInT project);
- hot hydraulic presses for compression molding;
- mechanical characterization systems (tensile, flexural, compression, impact);

- scanning electron microscopy (SEM);
- computed tomography (μ CT);
- DSC and DMA;
- CAD/CAM software;
- numerical simulation software (ANSYS/Abaqus, where available);
- software for statistical data analysis.

This research activity is directly part of the FIS SPRInT project and will benefit from the national and international scientific collaborations already established within the project with universities, research centers, and companies operating in the fields of composite materials, advanced recycling, and sustainable manufacturing.

Summary information regarding any planned period abroad for the Ph.D. student (duration, research group, university, research institution, etc.)

A research period of between **6 and 9 months** is planned at an international group active in the field of composite materials and advanced recycling, with particular focus on universities and research centers working on the recovery of prepregs and carbon fiber composites.

Possible host locations include:

- **University of Girona (Catalonia, Spain)**
- **Faculty of Engineering at the University of Porto (Portugal)**
- **University of Aalen (Germany);**
- **University of Toulouse (France)**
- **AGH University of Science and Technology in Kraków (Poland)**

The stay abroad will be aimed at conducting experimental research, collaborating with international research groups, and producing joint scientific publications.

ITA

Proponente: Ilaria Papa

Tematica di ricerca proposta: Tecnologie innovative per il recupero e il riutilizzo di prepreg in fibra di carbonio mediante taglio criogenico e stampaggio a compressione per applicazioni strutturali sostenibili

Curriculum di riferimento: Tecnologie e sistemi di produzione

Tecnologie innovative di recupero criogenico e riutilizzo degli sfridi di prepreg in fibra di carbonio per la realizzazione di componenti compositi ad alte prestazioni

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

I materiali compositi in fibra di carbonio rappresentano una delle principali tecnologie abilitanti nei settori aerospaziale, automobilistico, nautico e del design industriale grazie all'elevato rapporto resistenza/peso. Tuttavia, la crescente diffusione dei prepreg termoindurenti comporta la produzione di elevate quantità di sfridi generati durante le operazioni di taglio e laminazione. Tali materiali, pur mantenendo ancora le caratteristiche del prepreg originale, vengono generalmente smaltiti, con significativi impatti ambientali ed economici.

Negli ultimi anni numerosi studi hanno riguardato il riciclo dei compositi già polimerizzati mediante processi meccanici, termici e chimici; tuttavia, risultano ancora molto limitate le ricerche dedicate al recupero diretto degli sfridi di prepreg non polimerizzato. In particolare, mancano metodologie in grado di preservare contemporaneamente la lunghezza delle fibre, la distribuzione della matrice e la successiva capacità di consolidamento del materiale recuperato.

L'attività di ricerca proposta si inserisce nel progetto FIS **SPRInT (Innovative recovery technology of prepregs scraps used for composite materials)** e ha l'obiettivo di sviluppare una tecnologia innovativa di recupero basata sul taglio criogenico degli sfridi di prepreg, finalizzata alla produzione di nuovi componenti compositi mediante stampaggio a compressione.

Il progetto prevede inizialmente un'approfondita analisi dello stato dell'arte relativa alle tecnologie di recupero dei prepreg, agli effetti del taglio criogenico sulla morfologia delle fibre e della matrice

polimerica e alla relazione tra dimensione dei fiocchi, consolidamento e proprietà meccaniche del materiale riciclato. Successivamente saranno sviluppati protocolli sperimentali per la caratterizzazione del processo di taglio criogenico, valutando l'influenza dei principali parametri di processo sulla distribuzione dimensionale dei fiocchi, sull'integrità delle fibre e sulla qualità della matrice.

Particolare attenzione sarà dedicata allo studio del comportamento dei fiocchi durante la fase di riempimento dello stampo e consolidamento, analizzando possibili strategie per migliorarne l'impaccamento e l'orientazione. I materiali ottenuti saranno caratterizzati mediante prove meccaniche, analisi microstrutturali (SEM e microtomografia), caratterizzazione termo-meccanica (DSC e DMA) e valutazione della porosità.

L'attività consentirà di sviluppare nuove conoscenze scientifiche sul recupero diretto dei prepeg non polimerizzati, contribuendo allo sviluppo di processi di economia circolare ad elevato valore aggiunto per il settore dei materiali compositi.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando svolgerà le attività presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Saranno disponibili:

- laboratorio per la lavorazione dei materiali compositi;
- impianto di taglio criogenico (nell'ambito del progetto SPRInT);
- presse idrauliche a caldo per compression molding;
- sistemi di caratterizzazione meccanica (trazione, flessione, compressione, impatto);
- microscopia elettronica a scansione (SEM);
- microtomografia computerizzata (μ CT);
- DSC e DMA;
- software CAD/CAM;
- software per simulazione numerica (ANSYS/Abaqus, ove disponibili);
- software per analisi statistica dei dati.

L'attività si inserisce direttamente nel progetto FIS SPRInT e potrà beneficiare delle collaborazioni scientifiche nazionali e internazionali già attivate nell'ambito del progetto con università, centri di ricerca e aziende operanti nel settore dei materiali compositi, del riciclo avanzato e della manifattura sostenibile.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un periodo di ricerca compreso tra **6 e 9 mesi** presso un gruppo internazionale attivo nel settore dei materiali compositi e del riciclo avanzato, con particolare riferimento a università e centri di ricerca che operano sul recupero dei prepeg e dei compositi in fibra di carbonio.

Tra le possibili sedi ospitanti:

- **Università di Girona (Catalogna-Espana)**
- **Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Porto (Portogallo)**
- **Università di Aalen (Germania);**
- **Università di Tolosa (Francia)**
- **AGH Università di Scienze e Tecnologie in Cracovia (Polonia)**

Il soggiorno all'estero sarà finalizzato allo sviluppo delle attività sperimentali, al confronto con gruppi di ricerca internazionali e alla realizzazione di pubblicazioni scientifiche congiunte.

39) Proponent: Rossana Pasquino - ENG

Proposed research topic: Development of Anisotropic Hydrogel Fibers Reinforced with Cellulose Nanocrystals for Advanced Biomedical and Biosensing Applications

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical Engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

In recent years, hydrogel-based optical fibers have attracted increasing attention as innovative platforms for advanced biomedical applications, including deep-tissue biosensing, photodynamic therapy, photobiomodulation, photothermal therapy, and optogenetics. Their potential arises from the ability to combine excellent optical properties with key characteristics of biomaterials, such as biocompatibility, low cytotoxicity, biodegradability, and mechanical compatibility with biological tissues. Despite these advantages, the development of soft optical fibers capable of maintaining high light-transmission performance under mechanical deformation remains a significant scientific and technological challenge.

In conventional optical fibers, light propagation relies on the principle of Total Internal Reflection (TIR), which requires a refractive index difference between the fiber core and cladding. However, this configuration may be highly sensitive to fabrication defects, mechanical deformation, and structural imperfections, leading to reduced optical confinement efficiency. To overcome these limitations, graded-index systems have been developed, where a continuous variation of the refractive index promotes more stable and controlled light propagation.

Within this framework, the proposed project aims to develop an innovative class of hydrogel optical fibers exhibiting anisotropic optical properties through the incorporation of Cellulose Nanocrystals (CNCs) within hydrogel matrices. CNCs are rigid nanomaterials characterized by a high aspect ratio, excellent mechanical properties, and intrinsic birefringence, making them highly attractive building blocks for advanced photonic materials.

The hydrogel matrices will primarily consist of chemically modified and photocrosslinkable Pluronic-based systems, specifically designed to ensure structural stability in aqueous environments while preserving their thermoresponsive behavior. In addition, alternative hydrocolloid-based matrices derived from natural proteins and plant polysaccharides will be explored to broaden the range of applications and enhance the sustainability of the developed materials.

The main objective of the project is to establish fabrication methodologies based on microfluidic devices capable of generating controlled flow fields during fiber extrusion. The resulting shear and extensional stresses will be exploited to induce the alignment of CNCs within the hydrogel matrix, promoting the formation of anisotropic microstructures and local refractive index gradients across the fiber cross-section.

The research will include a comprehensive structural, rheological, mechanical, and optical characterization of the fabricated materials. Particular attention will be devoted to investigating CNC distribution and orientation, the mechanical performance of the fibers, and their optical behavior in terms of transmission efficiency, attenuation, birefringence, and polarization-dependent response. It is hypothesized that flow-induced ordering of CNCs will enable the development of novel light-guiding mechanisms based on microstructural anisotropy, potentially overcoming the limitations of conventional isotropic optical systems.

By integrating smart hydrogel materials, cellulose-based nanotechnology, and advanced microfluidic processing, this project aims to contribute to the development of next-generation soft photonic platforms for implantable optical devices, advanced biosensors, and innovative diagnostic and therapeutic technologies for biomedical applications.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

Most of the experimental work will be carried out at the Rheolab facilities of the University of Naples Federico II, located at Piazzale Tecchio and San Giovanni a Teduccio.

The PhD candidate will have access to rotational rheometers, calorimeters, texture analyzers, microscopes, hot stages, and all the equipment required for sample preparation and characterization. Additional analyses, such as scattering experiments (SAXS and SANS), will be performed in collaboration with other European research groups and specialized facilities. Polymer synthesis, when required, will be supported by the expertise of the research group led by Prof. Finizia Auriemma at the Department of Chemical Sciences, Monte Sant'Angelo campus.

The use of advanced microfluidic systems to generate tailored microstructures with tunable refractive indices will be enabled through international collaborations with the Okinawa Institute of Science and Technology (Prof. Amy Shen) and the University of Santiago de Compostela (Dr. Vincenzo Calabrese).

Potential additional collaborations may include:

- Prof. Mirella Di Lorenzo (United Kingdom) – Biosensing;
- Dr. Viviane Lutz-Bueno (Switzerland) – Scattering techniques;
- Prof. Andrea Cusano (Italy) – Optics and photonic sensing;
- Dr. Nunzia Lauriello (Italy) – Modelling and simulation.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The PhD candidate will spend a research period of at least six months at the University of Santiago de Compostela, under the supervision of Dr. Vincenzo Calabrese. This stay is expected to take place between the second and third years of the doctoral program (months 20-30), when the most promising formulations will have been identified and the effects of flow fields on material microstructure will have already been investigated through rheological and optical characterization techniques. This research experience will provide the candidate with advanced expertise in microfluidics and photonic material characterization while strengthening international collaboration and contributing significantly to the achievement of the project's scientific objectives.

ITA

Proponente: Rossana Pasquino

Tematica di ricerca proposta: Sviluppo di fibre in idrogel anisotrope con nanocristalli di cellulosa per applicazioni avanzate di biomedicina e biosensing

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi):

Negli ultimi anni, le fibre ottiche a base di idrogel hanno attirato crescente interesse come piattaforme innovative per applicazioni biomediche avanzate, tra cui biosensing in tessuti profondi, terapia fotodinamica, fotobiomodulazione, terapia fototermica e optogenetica. Il loro potenziale deriva dalla capacità di combinare eccellenti proprietà ottiche con caratteristiche tipiche dei biomateriali, quali biocompatibilità, bassa citotossicità, biodegradabilità e compatibilità/modulabilità meccanica con i tessuti biologici. Nonostante questi vantaggi, la progettazione di fibre ottiche morbide in grado di mantenere elevate prestazioni di trasmissione luminosa anche in presenza di deformazioni meccaniche rappresenta ancora una sfida significativa.

Nelle fibre ottiche convenzionali, la propagazione della luce si basa sul principio della riflessione totale interna, che richiede una differenza di indice di rifrazione tra il nucleo e il rivestimento della fibra. Tuttavia, questa configurazione non è sempre facile da realizzare e può risultare particolarmente sensibile a difetti di produzione, che ne compromettono l'efficienza del confinamento ottico. Per superare tali limitazioni, sono stati sviluppati sistemi a indice graduale, in cui una variazione continua dell'indice di rifrazione favorisce una propagazione più stabile della luce.

In questo contesto, il progetto propone una strategia innovativa per la realizzazione di fibre ottiche di idrogelo con proprietà ottiche anisotrope, ottenute mediante l'integrazione di nanocristalli di cellulosa (Cellulose Nanocrystals, CNCs) all'interno di una matrice di idrogelo. I CNCs sono nanomateriali rigidi con birefringenza intrinseca e alti aspect ratio, proprietà che li rendono particolarmente adatti all'ingegnerizzazione di materiali fotonici avanzati.

Le matrici di idrogelo saranno principalmente a base di Pluronic modificati e fotoreticolabili, ma si valuteranno anche altre tipologie di idrocolloidi, basati su proteine e polisaccaridi di origine vegetale.

L'obiettivo del progetto è sviluppare metodologie di fabbricazione basate su dispositivi microfluidici in grado di generare campi di flusso controllati durante l'estrusione della fibra. Le sollecitazioni di taglio ed estensionali indotte dal flusso saranno utilizzate per promuovere l'allineamento dei CNCs all'interno delle matrici di idrogelo, generando strutture anisotrope e gradienti locali di indice di rifrazione lungo la sezione trasversale della fibra.

La ricerca comprenderà una caratterizzazione strutturale, meccanica e ottica dei materiali ottenuti. In particolare, saranno studiate la distribuzione e l'orientamento dei CNCs, le proprietà meccaniche delle fibre e il loro comportamento ottico in termini di trasmissione, attenuazione, birefringenza e dipendenza dalla polarizzazione della luce. Si prevede che l'ordine indotto dal flusso consenta di ottenere fibre caratterizzate da propagazione anisotropa della luce e interazioni luce-materia spazialmente modulate, introducendo nuovi meccanismi di guida ottica oltre i tradizionali sistemi isotropi basati sulla riflessione totale interna. Grazie all'integrazione di idrogeli termoresponsivi, nanotecnologie a base di cellulosa e microfluidica, il progetto contribuirà allo sviluppo di nuove piattaforme fotoniche morbide per dispositivi impiantabili, biosensori di nuova generazione e sistemi avanzati per la diagnostica e la terapia biomedicale.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

La maggior parte delle prove sperimentali verrà eseguita nei locali del Rheolab, presso l'Università Federico II di Napoli, a P.le Tecchio e a San Giovanni a Teduccio. A disposizione il dottorando troverà reometri rotazionali, calorimetri, textuometri, microscopi, hot stages e tutto il necessario per la preparazione e la caratterizzazione dei campioni. Ulteriori prove, e.g. scattering (SAXS and SANS), verranno eseguite presso altri gruppi europei e centri specializzati. La sintesi polimerica, ove necessario, verrà supportata dall'esperienza del gruppo di Finizia Auriemma, Scienze Chimiche, Monte Sant'Angelo. L'utilizzo di sistemi microfluidici avanzati per indurre microstrutture diverse con indici di rifrazione modulabili sarà garantito da collaborazioni internazionali, quali Okinawa Institute of Science and Technology (Prof. Amy Shen) e l'università di Santiago de Compostela (Dr. Vincenzo Calabrese).

Potenziati e possibili collaborazioni potranno, inoltre, includere:

- Prof. Mirella Di Lorenzo (UK - biosensing);
- Dr. Viviane Lutz-Bueno (Switzerland - scattering);
- Prof. Andrea Cusano (Italy - ottica);
- Dr. Nunzia Lauriello (Italy - modelling).

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il dottorando svolgerà un periodo di ricerca di almeno sei mesi presso l'Università di Santiago de Compostela, sotto la supervisione del Dr. Vincenzo Calabrese. Il soggiorno è previsto indicativamente tra il secondo e il terzo anno di dottorato (mesi 20-30), quando saranno state individuate le formulazioni più promettenti e saranno già stati approfonditi gli effetti dei campi di flusso sulla microstruttura dei materiali mediante tecniche reologiche e ottiche. Questa esperienza consentirà al dottorando di acquisire competenze avanzate nell'ambito della microfluidica e della caratterizzazione dei materiali fotonici, favorendo al contempo il consolidamento della collaborazione internazionale e il raggiungimento degli obiettivi scientifici del progetto.

40) Proponent: Raffaele Pastore - ENG

Proposed research topic: Non-Gaussian diffusion in soft matter and beyond: from microscopic dynamics to macroscopic phenomena

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

Non-Gaussian diffusion has been observed in a broad variety of real materials and complex environments, such as colloidal, polymeric and biological fluids, active systems, porous materials and biological tissues. In all these systems, some form of heterogeneity, e.g. structural or chemical, can induce particle displacement statistics that strongly deviate from Gaussian behavior, revealing transport mechanisms that are not captured by standard diffusion models. A major turning point in this field has been the discovery of Fickian yet non-Gaussian diffusion (FnGD), where a linear mean square displacement coexists with strongly non-Gaussian displacement distributions. This showed that non-Gaussian dynamics is not only associated with anomalous diffusion, but can also emerge in apparently ordinary Fickian transport, making it a widespread and still puzzling phenomenon.

We have been actively contributing to this field by investigating FnGD and related non-Gaussian processes in a broad range of systems, including colloidal tracers in optical patterns, colloidal and molecular glass-forming liquids, charged vesicle suspensions, sheared non-Brownian jammed suspensions such as compressed emulsions, polymer melts and polymer nanocomposites, and the diffusion of reactant molecules in zeolite catalysts. We are also starting to extend this line of research toward biological contexts. These topics are studied through molecular and Brownian dynamics simulations, as well as through the analysis of experiments performed in close collaboration with partner laboratories.

While much of the current effort in the field is devoted to understanding the microscopic origin of non-Gaussian diffusion, its macroscopic consequences remain much less explored. This represents an important open direction, since non-Gaussian fluctuations and rare events may strongly affect diffusion-limited processes, catalytic efficiency and other related target-search problems, as well as relaxation pathways and rheological response. Recent research from our group has started to tackle this micro-macro connection, for instance by relating FnGD in sheared non-Brownian suspensions to rheology, and by exploring how heterogeneous molecular transport can affect the efficiency of catalytic processes in zeolitic materials.

The proposed PhD project will build on these current and recent activities. Depending on the candidate's interests, the research may focus on any of the systems mentioned above, or on closely related model systems, performing numerical simulations and/or the analysis of experimental data. The central goal will be to clarify how microscopic non-Gaussian dynamics emerges from heterogeneity, and how it impacts macroscopic observables relevant to soft matter physics, materials science, chemistry, and chemical engineering. In this way, the project will contribute to developing a general framework to understand, predict, and eventually control non-Gaussian dynamics in complex materials.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD student will have access to the computational facilities available within the research group and at the University of Naples Federico II, including workstations and high-performance computing resources. The student will also be encouraged to apply for computing time through national HPC calls, including CINECA allocations. The activity will rely on established simulation and data-analysis tools, together with in-house codes previously developed by the group.

For the numerical and theoretical aspects of the project, the PhD student will be encouraged to interact with leading national and international research groups active in the fields of soft matter,

complex fluids, glassy dynamics, transport phenomena, polymer systems, and chemical engineering applications.

Although the main activity is expected to be numerical and theoretical, the PhD student will also have the opportunity to be involved in the analysis and interpretation of experimental data obtained in collaboration with partner laboratories, both within the University of Naples Federico II and at other institutions in Italy and abroad.

Examples of potential collaboration partners include, but are not limited to, the University of Padua, Sapienza University of Rome, ESPCI Paris, the University of Montpellier, Humboldt University of Berlin, the University of Bath, Osaka University, the Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research in India, the University of Michigan, and Procter & Gamble sites in Brussels and Cincinnati.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The PhD student will be strongly encouraged to spend a research period abroad, indicatively of 4–6 months, at a leading international research centre or university. The specific destination will be selected in a targeted way, depending on the development of the PhD project, the scientific questions that will emerge during the research activity, and the candidate's interests and inclinations. Additional shorter visits abroad, typically lasting one to two weeks, will also be encouraged.

The period abroad will aim to strengthen the student's scientific training, foster interaction with complementary expertise, and support the development of specific aspects of the project, including numerical modelling, theoretical interpretation, data analysis, or comparison with experimental results. Possible destinations include, but are not limited to, the international collaboration partners mentioned above.

ITA

Proponente:

Prof. Raffaele Pastore

Tematica di ricerca proposta:

Diffusione non-gaussiana nella materia soffice e oltre: dalla dinamica microscopica ai fenomeni macroscopici

Curriculum di riferimento:

Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

La diffusione non-gaussiana è stata osservata in un'ampia varietà di materiali reali e ambienti complessi, quali fluidi colloidali, polimerici e biologici, sistemi attivi, materiali porosi e tessuti biologici. In tutti questi sistemi, qualche forma di eterogeneità, ad esempio strutturale o chimica, può indurre statistiche degli spostamenti delle particelle che deviano fortemente dal comportamento gaussiano, rivelando meccanismi di trasporto che non sono descritti dai modelli standard di diffusione. Un punto di svolta importante in questo campo è stata la scoperta della diffusione fickiana ma non gaussiana (FnGD), in cui uno spostamento quadratico medio lineare coesiste con distribuzioni degli spostamenti fortemente non gaussiane. Ciò ha mostrato che la dinamica non gaussiana non è associata soltanto alla diffusione anomala, ma può emergere anche in un trasporto apparentemente ordinario e fickiano, rendendola un fenomeno diffuso e ancora non pienamente compreso. Il nostro gruppo attivamente a questo campo investigando la FnGD e processi non gaussiani correlati in un'ampia gamma di sistemi, tra cui traccianti colloidali in pattern ottici, liquidi colloidali e molecolari formatori di vetro, sospensioni di vescicole cariche, sospensioni jammed non browniane sottoposte a taglio, come emulsioni compresse, fusi polimerici e nanocompositi polimerici, e la diffusione di molecole reagenti in catalizzatori zeolitici. Stiamo inoltre iniziando a estendere questa linea di ricerca verso contesti biologici. Questi temi sono studiati mediante

simulazioni di dinamica molecolare e browniana, nonché attraverso l'analisi di esperimenti condotti in stretta collaborazione con laboratori partner. Sebbene gran parte degli sforzi attuali nel campo sia dedicata alla comprensione dell'origine microscopica della diffusione non gaussiana, le sue conseguenze macroscopiche rimangono molto meno esplorate. Questo rappresenta una direzione aperta di grande interesse, poiché le fluttuazioni non gaussiane e gli eventi rari possono influenzare fortemente processi limitati dalla diffusione, l'efficienza catalitica e altri problemi correlati di ricerca di bersagli, così come i percorsi di rilassamento e la risposta reologica. Ricerche recenti del nostro gruppo hanno iniziato ad affrontare questa connessione micro-macro, ad esempio mettendo in relazione la FnGD in sospensioni non browniane sottoposte a taglio con la reologia, ed esplorando come il trasporto molecolare eterogeneo possa influenzare l'efficienza dei processi catalitici in materiali zeolitici. Il progetto di dottorato proposto si baserà su queste attività correnti e recenti. A seconda degli interessi del candidato, la ricerca potrà concentrarsi su uno qualsiasi dei sistemi menzionati sopra, oppure su sistemi modello strettamente correlati, mediante simulazioni numeriche e/o analisi di dati sperimentali. L'obiettivo centrale sarà chiarire come la dinamica microscopica non gaussiana emerga dall'eterogeneità e come essa influenzi osservabili macroscopiche rilevanti per la fisica della materia soffice, la scienza dei materiali, la chimica e l'ingegneria chimica. In questo modo, il progetto contribuirà allo sviluppo di un quadro generale per comprendere, prevedere ed eventualmente controllare la dinamica non gaussiana nei materiali complessi. **Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.** Il dottorando avrà accesso alle risorse computazionali disponibili all'interno del gruppo di ricerca e presso l'University of Naples Federico II, incluse workstation e risorse di calcolo ad alte prestazioni. Il dottorando sarà inoltre incoraggiato a richiedere ore di calcolo attraverso bandi nazionali HPC, con particolare riferimento a quelli del CINECA. L'attività si baserà su codici e protocolli consolidati di simulazione e analisi dei dati, insieme a codici sviluppati internamente dal gruppo. Per gli aspetti numerici e teorici del progetto, il dottorando sarà incoraggiato a interagire con gruppi di ricerca nazionali e internazionali di primo piano attivi nei campi della materia soffice, dei fluidi complessi, della dinamica vetrosa, dei fenomeni di trasporto, dei sistemi polimerici e delle applicazioni all'ingegneria chimica.

Sebbene l'attività principale sia prevista come numerica e teorica, il dottorando avrà anche l'opportunità di essere coinvolto nell'analisi e interpretazione di dati sperimentali ottenuti in collaborazione con laboratori partner, sia all'interno dell'University of Naples Federico II sia presso altre istituzioni in Italia e all'estero. Esempi di potenziali partner scientifici includono, ma non sono limitati a, Università di Padova, Università di Roma La Sapienza, ESPCI Paris, University of Montpellier, Humboldt University of Berlin, University of Bath, Osaka University, Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research in India, University of Michigan, e Procter & Gamble sites in Brussels and Cincinnati.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il dottorando sarà fortemente incoraggiato a svolgere un periodo di ricerca all'estero, indicativamente di 4–6 mesi, presso un centro di ricerca o un'università internazionale di primo piano. La destinazione specifica sarà selezionata in modo mirato, in base allo sviluppo del progetto di dottorato, alle questioni scientifiche che emergeranno durante l'attività di ricerca e agli interessi e alle inclinazioni del candidato. Saranno inoltre incoraggiati ulteriori soggiorni brevi all'estero, tipicamente della durata di una o due settimane.

Il periodo all'estero avrà l'obiettivo di rafforzare la formazione scientifica del dottorando, favorire l'interazione con competenze complementari e supportare lo sviluppo di aspetti specifici del progetto, inclusi la modellizzazione numerica, l'interpretazione teorica, l'analisi dei dati o il confronto con risultati sperimentali. Le possibili destinazioni includono, ma non sono limitate a, i partner scientifici internazionali già menzionati.

41) Proponent: Valentina Preziosi - ENG

Proposed research topic: Rheo-optical characterization of liquid-liquid systems using multimodal experimental techniques

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

State of the art

Complex liquid–liquid systems, such as emulsions, are widely employed in several industrial sectors,

including food, personal care, pharmaceuticals, detergents, and advanced materials. Their macroscopic properties, such as stability, rheology, processability, and product performance, are strongly governed by their microstructure, including droplet size distribution, droplet interactions, and the organization of the dispersed phase under flow conditions. Despite significant advances in emulsion science, establishing quantitative relationships between microstructure and rheological behavior remains a major scientific challenge, particularly for highly concentrated systems and in presence of surface-active molecules.

The integration of rheology and advanced microscopy offers a unique opportunity to investigate complex emulsions across multiple length scales, linking microscopic structural evolution with macroscopic mechanical properties. In parallel, Organic Electrochemical Transistor (OECT)-based sensors are emerging as highly sensitive platforms for the real-time monitoring of complex fluid systems. Owing to their high sensitivity to changes in the physicochemical environment, OECTs can

be employed not only for the detection of specific analytes, but also for monitoring structural transitions, such as gelation processes and the evolution of complex microstructures. The combination of advanced characterization techniques and innovative sensing technologies therefore represents a promising strategy for correlating formulation, microstructure, rheological properties, and functional performance. However, such integrated experimental approaches remain relatively unexplored for industrial formulations, where the combined effects of composition, flow history, and processing conditions generate highly complex microstructures. Developing a comprehensive understanding of these structure–property relationships is therefore essential for the rational design, monitoring, and optimization of next-generation industrial formulations with improved stability, functionality, and sustainability.

Workplan

§ **Literature review and sample preparation:** Review the current state of the art on complex liquid–liquid systems and OECT-based sensing, followed by the preparation and selection of representative emulsions and gel-like systems for industrial applications.

§ **Multimodal characterization:** Investigate the microstructure of the systems by combining rheological measurements with optical and confocal microscopy to establish structure–property relationships under static and flow conditions.

§ **Development of OECT-based sensing strategies:** Design and evaluate Organic Electrochemical Transistor (OECT)-based sensors for the real-time monitoring of specific analytes and structural transitions, such as gelation and microstructural evolution.

§ **Data integration and correlation:** Correlate microstructural observations, rheological properties, and sensor response to develop predictive relationships for the monitoring and optimization of industrial formulations.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations

with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant

to the proposed topic.

The PhD student will have access to a well-equipped experimental infrastructure for the characterization of complex fluids and soft materials. In particular, advanced optical and confocal microscopy systems for detailed microstructural analysis and microfluidic platforms and precision syringe pumps are available to investigate fluid dynamics and flow phenomena under controlled conditions.

A probe station connected to a dual-channel source-meter to characterize the device electrically and for the sensing experiments, will be also used.

The research project is supported by well-established collaborations with internationally recognized academic researchers and industrial partners. These collaborations provide a multidisciplinary research environment, strengthen the scientific impact of the project, and promote knowledge exchange and opportunities for technology transfer.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A three-month research stay is planned during the third year at the University of Manchester, under the supervision of Professor Carmine D'Agostino. The collaborative research activity will focus on the characterization of the microstructure of complex systems through the combined use of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) techniques, to be compared with optical and confocal microscopy, rheological measurements and OECT-based sensing experiments.

ITA

Proponente: Valentina Preziosi

Tematica di ricerca proposta:

Caratterizzazione reo-ottica di sistemi liquido-liquido mediante tecniche sperimentali multimodali

Curriculum di riferimento:

Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

max 500 parole

Stato dell'arte

I sistemi complessi liquido-liquido, tra i quali le emulsioni, sono ampiamente impiegati in numerosi settori industriali, tra cui quello alimentare, della cura della persona, quello farmaceutico, dei detersivi e dei materiali avanzati. Le loro proprietà macroscopiche, quali stabilità, comportamento reologico, processabilità e prestazioni del prodotto finale, sono fortemente influenzate dalla loro microstruttura, che comprende la distribuzione dimensionale delle gocce, le interazioni tra le gocce e l'organizzazione della fase dispersa in condizioni di flusso. Nonostante i notevoli progressi compiuti

nella scienza delle emulsioni, la definizione di relazioni quantitative tra microstruttura e comportamento reologico rappresenta ancora una delle principali sfide scientifiche, in particolare per sistemi altamente concentrati ed in presenza di molecole tensioattive.

L'integrazione tra tecniche reologiche e microscopia avanzata offre un'opportunità unica per investigare le emulsioni complesse su diverse scale dimensionali, consentendo di correlare l'evoluzione della microstruttura con le proprietà meccaniche macroscopiche. Parallelamente, i sensori basati su Organic Electrochemical Transistors (OECT) stanno emergendo come piattaforme altamente sensibili per il monitoraggio in tempo reale di sistemi fluidi complessi. Grazie alla loro elevata sensibilità alle variazioni dell'ambiente fisico-chimico, gli OECT possono essere impiegati non

solo per la rilevazione di specifici analiti, ma anche per il monitoraggio di transizioni strutturali, quali

i processi di gelificazione e l'evoluzione di microstrutture complesse.

La combinazione di tecniche avanzate di caratterizzazione e di tecnologie di sensing innovative rappresenta pertanto una strategia promettente per correlare la formulazione, la microstruttura, le

proprietà reologiche e le prestazioni funzionali dei sistemi complessi. Tuttavia, tali approcci sperimentali integrati risultano ancora poco esplorati nel contesto delle formulazioni industriali, dove gli effetti combinati della composizione, della storia di deformazione e delle condizioni di processo generano microstrutture altamente complesse.

Lo sviluppo di una comprensione approfondita delle relazioni tra struttura e proprietà risulta quindi fondamentale per la progettazione, il monitoraggio e l'ottimizzazione di formulazioni industriali di nuova generazione, caratterizzate da maggiore stabilità, funzionalità e sostenibilità.

Piano di lavoro

- **Revisione della letteratura e preparazione dei campioni:** analisi dello stato dell'arte relativo ai sistemi complessi liquido-liquido e ai sensori basati su Organic Electrochemical Transistors (OECT), seguita dalla preparazione e selezione di emulsioni e gel rappresentativi di applicazioni industriali.

- **Caratterizzazione multimodale:** studio della microstruttura dei sistemi mediante l'integrazione di misure reologiche con microscopia ottica e confocale, al fine di stabilire correlazioni tra microstruttura e proprietà del materiale sia in condizioni statiche sia in presenza di flusso.

- **Sviluppo di strategie di sensing basate su OECT:** progettazione, realizzazione e valutazione di sensori basati su Organic Electrochemical Transistors (OECT) per il monitoraggio in tempo reale di analiti specifici e di transizioni strutturali, quali i processi di gelificazione e l'evoluzione della microstruttura.

- **Integrazione e correlazione dei dati:** correlazione delle osservazioni microstrutturali, delle proprietà reologiche e della risposta dei sensori per sviluppare modelli predittivi utili al monitoraggio, alla progettazione e all'ottimizzazione di formulazioni industriali complesse.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il dottorando avrà accesso a un'infrastruttura sperimentale altamente qualificata per la caratterizzazione di fluidi complessi. Il laboratorio è dotato di sistemi avanzati di microscopia ottica e confocale per l'analisi dettagliata della microstruttura dei materiali e di piattaforme microfluidiche e pompe a siringa di precisione per lo studio della dinamica dei fluidi e dei fenomeni di flusso in condizioni controllate. Il progetto prevede anche l'impiego di una probe station collegata a uno multimetro a doppio canale, destinata alla caratterizzazione elettrica dei dispositivi e allo svolgimento degli esperimenti di sensing basati su Transistor organici elettrochimici (OECT). L'attività di ricerca sarà supportata da consolidate collaborazioni con ricercatori di riconosciuto prestigio internazionale e con partner industriali. Tali collaborazioni offriranno al dottorando un ambiente di ricerca multidisciplinare, rafforzeranno l'impatto scientifico del progetto e favoriranno lo scambio di competenze, nonché lo sviluppo di attività di trasferimento tecnologico e di valorizzazione dei risultati della ricerca.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Ecco una traduzione in stile accademico, adatta a una proposta di dottorato o a un progetto di ricerca.

È previsto nel corso del terzo anno di dottorato, un periodo di ricerca della durata di tre mesi, presso l'Università di Manchester, sotto la supervisione del Professor Carmine D'Agostino. L'attività di ricerca congiunta sarà focalizzata sulla caratterizzazione della microstruttura di sistemi complessi mediante l'impiego di tecniche di Risonanza Magnetica Nucleare (NMR), i cui risultati saranno confrontati e integrati con quelli ottenuti mediante microscopia ottica e confocale, misure reologiche ed esperimenti di sensing basati su Organic Electrochemical Transistors (OECT).

42) Proponent: Martina Salzano de Luna - ENG

Proposed research topic: Molecular Design and Synthesis of Aerogels with Controlled Functionality

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives)

Aerogels represent a class of nanostructured materials characterized by extremely high porosity, low density, and a large specific surface area. These properties make them ideal for applications in strategic sectors such as catalysis, sensing, thermal insulation, and energy storage. However, to maximize their application efficiency, it is essential to develop synthesis strategies that allow precise control over their chemical composition and surface functionality.

The objective of this project is to design and synthesize aerogels with tunable chemical functionality through a molecular design approach, using tailored organic and inorganic precursors. Innovative sol-gel methodologies will be explored, followed by gelation and supercritical drying processes, to obtain stable and highly porous structures. Specific functional groups—such as amine, thiol, or carboxyl groups—will be introduced to optimize the interaction of the aerogels with selected target species.

The project includes a strong interdisciplinary component and the use of advanced characterization techniques (BET, SEM, FTIR, XPS) to correlate structure with properties. The results will contribute to the development of intelligent and sustainable materials for advanced technological applications.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The research activities will be carried out within the research laboratories of DICMaPI, which are fully equipped to support the planned activities, both for the preparation/synthesis of new materials and for their characterization.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The research activity will include a period of at least 6 months abroad (between the 2nd and 3rd year) at one of the partner universities with which active collaborations are in place. The host institution will be selected based also on the research developments at the end of the 1st year.

ITA

Proponente: Martina Salzano de Luna

Tematica di ricerca proposta: Design molecolare e sintesi di aerogel con funzionalità controllata

Curriculum di riferimento:

Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) Gli aerogel rappresentano una classe di materiali nanostrutturati caratterizzati da estrema porosità, bassa densità e un'elevata area superficiale. Queste proprietà li rendono ideali per applicazioni in settori strategici come la catalisi, la sensoristica, l'isolamento termico e l'immagazzinamento di energia. Tuttavia, per massimizzarne l'efficienza applicativa, è fondamentale sviluppare strategie di sintesi che consentano un controllo preciso della loro composizione chimica e della funzionalità superficiale.

L'obiettivo del progetto è progettare e sintetizzare aerogel con funzionalità chimica modulabile attraverso un approccio di *design molecolare*, utilizzando precursori organici e inorganici su misura.

Verranno esplorate metodologie sol-gel innovative, seguite da trattamenti di gelificazione e supercritici, per ottenere strutture stabili e altamente porose. Saranno introdotte specifiche funzionalità – ad esempio gruppi amminici, tiolici o carbossilici – per ottimizzare l'interazione dell'aerogel con target selezionati.

Il progetto prevede una forte componente interdisciplinare e l'uso di tecniche avanzate di caratterizzazione (BET, SEM, FTIR, XPS), per correlare struttura e proprietà. I risultati contribuiranno allo sviluppo di materiali intelligenti e sostenibili per tecnologie avanzate.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Le attività di ricerca saranno svolte nell'ambito dei laboratori di ricerca del DICMaPI che sono ampiamente attrezzati per lo svolgimento delle attività programmate sia per la preparazione/sintesi dei nuovi materiali che per la loro caratterizzazione.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

L'attività di ricerca prevederà un periodo di almeno 6 mesi all'estero (tra il 2° ed il 3° anno) presso una delle Università con cui ci sono collaborazioni in essere. La metà verrà selezionata anche in base agli sviluppi della ricerca alla fine del 1° anno.

43) Proponent: Prof. Sannino Filomena e Prof. Domenico Pirozzi - ENG

Proposed research topic: Design and development of advanced Carbon Dots-based nanocomposites for applications in food safety and environmental protection

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project

Carbon Dots (CDs) represent a new class of carbon-based nanoparticles with sizes below 10 nm, characterized by a structure consisting primarily of sp²- and sp³-hybridized carbon atoms and surface functional groups such as carboxyl (-COOH) and hydroxyl (-OH) groups, often enriched with heteroatoms (N, S, P, B). CDs exhibit high biocompatibility, low toxicity, and good chemical stability. These characteristics, combined with the ability to synthesize these nanomaterials using cost-effective and sustainable processes, have promoted their development in numerous fields. In the food sector, CDs enable innovative detection of pathogens, heavy metals, and antibiotics, and can improve food preservation having effective antibacterial and antioxidant properties, thus contributing to extended shelf-life. Their photoluminescence is employed for contaminant detection through "quenching" or "enhancement" mechanisms, allowing both qualitative and quantitative analyses. Moreover, CDs are used in water remediation for the detection and removal of pollutants such as heavy metals and antibiotics, through adsorption and photocatalytic processes.

Multifunctional CDs-based nanocomposites can be obtained by incorporating the nanoparticles into polymeric matrices (e.g., chitosan) or by coupling them with semiconductors (e.g., TiO₂). This strategy minimizes the aggregation of CDs, improves their mechanical properties, and, in the case of CDs/semiconductor composites, increases the efficiency of the photocatalysts. The proposed PhD project aims to develop nanocomposites for applications in food safety and wastewater treatment. CDs will be synthesized from natural precursors and organic waste, then characterized and integrated into multifunctional matrices. In the food sector, the project will investigate the mechanisms underlying the antimicrobial activity of CDs and develop systems for contaminant detection and shelf-life improvement through active packaging. For environmental remediation, the nanocomposites will be tested for the removal of metals and organic pollutants (e.g., PFAS, antibiotics, pesticides), analyzing efficiency and reusability of the materials under different operating conditions.

Innovation and/or originality of the project

The project stands out for its strongly interdisciplinary and sustainable approach to the development and application of CDs, introducing several innovative elements:

Green synthesis and waste valorization: use of natural precursors and waste materials for the production of CDs, in line with circular economy principles;

Advanced engineering of CDs: controlled modulation of composition (heteroatom doping) and surface properties to obtain nanomaterials with tailored functionalities;

Development of multifunctional nanocomposites: integration of CDs into hybrid matrices to achieve materials with combined properties (sensing, antimicrobial, and remediation), overcoming the traditional single-function approach;

Strategic dual application (food and environment): an innovative approach that bridges food safety and water purification;

Novel active and intelligent packaging systems: design of materials capable not only of extending food shelf-life but also of rapidly and sensitively detecting contaminants;

Integrated adsorption/photocatalysis approach: development of systems for the removal of emerging contaminants (PFAS, antibiotics, pesticides) by combining multiple mechanisms of action;

Investigation of mechanisms of action: in-depth study of antimicrobial mechanisms and interactions with contaminants, still not fully understood in the literature, providing significant scientific value to the project.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD project will rely on a well-structured network of laboratories and advanced scientific instrumentation, distributed among the laboratory of Prof. F. Sannino, Prof. D. Pirozzi, the CNR (National Research Council), and other partner research centers (INRIM Torino, Chemical Sciences Department of University of Naples “Federico II, Naples, Evja s.r.l.). The experimental activities will be supported by infrastructures equipped with essential tools for the synthesis, characterization, and functional evaluation of Carbon Dot (CD)-based nanocomposites.

In Prof. Sannino’s laboratory, the following equipment will be available:

Agitators and temperature-controlled ovens, for sample preparation and thermal treatment;

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), for the identification of functional groups present on CDs and within composite materials;

TGA (Thermogravimetric Analysis), to assess thermal stability and determine the organic/inorganic composition of the samples;

UV-Vis Spectrophotometer, used to measure light absorption;

HPLC (High-Performance Liquid Chromatography), equipped with OpenLab CDS software, for the quantitative analysis of pollutants, antibiotics, and other target molecules relevant to environmental and food-related applications;

ICP for the analysis of heavy metals.

For advanced structural and morphological analysis, the following facilities will be used:

SEM (Scanning Electron Microscope), available at the DIA;

TEM (Transmission Electron Microscope), available at the CNR site, for high-resolution imaging of the nanoparticles and to confirm their dispersion and morphology;

XRD (X-ray Diffraction), available at the INRIM site (Torino), useful for identifying crystalline phases and assessing the impact of CD integration on the structure of the host materials

Biological tests and a Life Cycle Assessment (LCA) study will also be carried out in collaboration with the Department of Biology (Prof. Guerriero) to evaluate the environmental impact of the entire process.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The PhD student will undertake a four-month international research stay at the University of Coimbra (Portugal), under the supervision of Professor Artur J. M. Valente, Coordinator of the Laboratory of Macromolecules and Transport Phenomena, part of the Coimbra Chemistry Centre at the University, and a four-month international research stay at the Thomas Jefferson University, Pennsylvania (USA), Department of Biochemistry and Molecular Biology, under the supervision of Professor Teresa Fernandez-Alnemri.

ITA

Proponente: Prof. Sannino Filomena e Prof. Domenico Pirozzi

Tematica di ricerca proposta: Progettazione e sviluppo di nanocompositi avanzati a base di Carbon Dots per applicazioni nella sicurezza alimentare e nella tutela ambientale

Curriculum di riferimento:

Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca

I Carbon Dots (CDs) rappresentano una nuova classe di nanoparticelle a base di carbonio con dimensioni inferiori ai 10 nm, caratterizzate da una struttura costituita principalmente da atomi di carbonio ibridati sp² e sp³ e da gruppi funzionali superficiali come gruppi carbossilici (-COOH) e idrossilici (-OH), spesso arricchiti con eteroatomi (N, S, P, B). I CDs presentano elevata biocompatibilità, ridotta tossicità e buona stabilità chimica. Tali caratteristiche, unite alla possibilità di sintetizzare questi nanomateriali mediante processi economici e sostenibili, hanno favorito il loro sviluppo in numerosi ambiti. In campo alimentare, i CDs consentono il rilevamento innovativo di

patogeni, metalli pesanti e antibiotici, oltre a migliorare la conservazione degli alimenti avendo proprietà antibatteriche e antiossidanti, contribuendo così all'estensione della shelf-life. La loro fotoluminescenza è impiegata per rilevare contaminanti attraverso meccanismi di "quenching" o "enhancement", permettendo analisi qualitative e quantitative. Inoltre, i CDs vengono utilizzati nella bonifica delle acque per il rilevamento e la rimozione di inquinanti, attraverso processi di adsorbimento e fotocatalisi. Nanocompositi multifunzionali a base di CDs possono essere ottenuti incorporando le nanoparticelle in matrici polimeriche (es. chitosano) oppure combinandole con semiconduttori (es. TiO_2). Questa strategia riduce i fenomeni di aggregazione dei CDs, ne migliora le caratteristiche meccaniche e, nel caso dei compositi CDs/semiconduttore, incrementa l'efficienza dei fotocatalizzatori. Il progetto proposto mira a sviluppare nanocompositi per applicazioni nella sicurezza alimentare e nella depurazione di acque reflue. I CDs saranno sintetizzati da precursori naturali e scarti organici, quindi caratterizzati e integrati in matrici multifunzionali. Nel settore alimentare, si indagheranno i meccanismi alla base dell'attività antimicrobica dei CDs e verranno sviluppati sistemi per il rilevamento di contaminanti e il miglioramento della shelf-life tramite packaging attivo. Per la depurazione ambientale, i nanocompositi saranno testati per la rimozione di metalli e inquinanti organici (es. PFAS, antibiotici, pesticidi), analizzando efficienza e riusabilità dei materiali in diverse condizioni operative.

Elementi di innovazione e/o originalità del progetto:

Il progetto si distingue per un approccio fortemente interdisciplinare e sostenibile allo sviluppo e all'applicazione dei CDs, introducendo diversi elementi di innovazione:

Sintesi "green" e valorizzazione di scarti: utilizzo di precursori naturali e di scarto per la produzione di CDs, in linea con i principi dell'economia circolare;

Ingegnerizzazione avanzata dei CDs: modulazione controllata della composizione (doping con eteroatomi) e delle proprietà superficiali per ottenere nanomateriali con funzionalità mirate;

Sviluppo di nanocompositi multifunzionali: integrazione dei CDs in matrici ibride per ottenere materiali con proprietà combinate (sensoristiche, antimicrobiche e depurative), superando l'approccio tradizionale a singola funzione;

Applicazione strategica (food e ambiente): proposta innovativa che unisce sicurezza alimentare e depurazione delle acque;

Nuovi sistemi di packaging attivo e intelligente: progettazione di materiali in grado non solo di prolungare la shelf-life degli alimenti, ma anche di rilevare contaminanti in modo rapido e sensibile;

Approccio integrato adsorbimento/fotocatalisi: sviluppo di sistemi per la rimozione di contaminanti emergenti (PFAS, antibiotici, pesticidi) combinando più meccanismi d'azione;

Studio dei meccanismi d'azione: approfondimento dei meccanismi antimicrobici e di interazione con contaminanti, aspetto ancora non completamente chiarito in letteratura, che conferisce valore scientifico fondamentale al progetto.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il progetto di dottorato si avvarrà di una rete articolata di laboratori e strumentazioni scientifiche avanzate, distribuite tra il laboratorio della Prof.ssa Sannino, del Prof. Pirozzi, il CNR e altri centri di ricerca partner (INRIM Torino, Chemical Sciences Department of University of Naples "Federico II, Evja s.r.l.). Le attività sperimentali saranno supportate da infrastrutture dotate di strumenti fondamentali per la sintesi, caratterizzazione e valutazione funzionale dei nanocompositi a base di Carbon Dots (CDs).

Nel laboratorio della Prof.ssa Sannino, saranno disponibili:

Agitatori e stufe a temperature controllate per la preparazione e il trattamento termico dei campioni; FTIR (Spettroscopia a Trasformata di Fourier), per l'identificazione dei gruppi funzionali presenti sui CDs e nei materiali compositi;

TGA (Analisi Termogravimetrica), per determinare la stabilità termica e la composizione organica/inorganica dei campioni;

Spettrofotometro, utilizzato per misurare l'assorbimento;
HPLC (Cromatografia Liquida ad Alta Prestazione), equipaggiato con software OpenLab CDS, per l'analisi quantitativa di inquinanti, antibiotici e molecole target rilevanti nel contesto ambientale e alimentare;
ICP per l'analisi di metalli pesanti.

Per le analisi morfologiche e strutturali avanzate, verranno utilizzate:

Il SEM (Microscopio Elettronico a Scansione) disponibile presso il DIA;

Il TEM (Microscopio Elettronico a Trasmissione), disponibile presso la sede del CNR, per osservazioni ad alta risoluzione delle nanoparticelle e confermare la loro dispersione e forma;

La Diffrazione a Raggi X (XRD), disponibile presso l'INRIM (Torino), utile per identificare le fasi cristalline presenti e valutare l'impatto dell'integrazione dei CDs sulla struttura dei materiali ospitanti.

Attraverso una collaborazione con il Dipartimento di Biologia verranno effettuati saggi biologici e uno studio di Life Cycle Assessment (LCA) per valutare l'impatto ambientale dell'intero processo.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Il dottorando trascorrerà un periodo di mobilità internazionale di quattro mesi presso l'Università di Coimbra (Portogallo), sotto la guida del Professor Artur J. M. Valente, coordinatore scientifico del *Laboratory of*

Macromolecules and Transport Phenomena, facente parte del Coimbra Chemistry Centre dell'ateneo portoghese e altrettanti quattro mesi presso il Dipartimento di Biochimica e Biologia Molecolare, Thomas Jefferson University, Pennsylvania (USA), sotto la guida della Prof. Teresa Fernandez-Alnemri.

44) Proponent: FABRIZIO SCALA – financed by CNR-STEMS - ENG

Proposed research topic: Oxy-Steam Gasification of Municipal Sewage Sludge for Fuel Production

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

The PhD activity will be carried out within the framework of the European project *HORIZON-CL5-2025-02-D2-08 – BHARAT-EU: Bio-based Renewable Hydrogen from Agro/Forestry/Biogenic Residues through Advanced Technologies (Project No. 101269621)*. The research activity will focus on the valorization of municipal sewage sludge for the production of biofuels.

More specifically, over 3 million tonnes of wet sewage sludge are generated annually in Italy, and its management is becoming increasingly challenging due to rising disposal costs, stricter regulations, and the presence of emerging contaminants such as PFAS, pharmaceuticals, microplastics, and heavy metals. Gasification represents a promising solution for sludge valorization.

Compared with conventional air gasification, oxy-steam gasification produces a higher-quality syngas, free of nitrogen dilution and characterized by an H_2/CO ratio closer to that required by downstream upgrading processes such as methanation, methanol synthesis, Sustainable Aviation Fuel (SAF) production, and other fuel synthesis pathways.

From a scientific perspective, this research area has experienced significant growth since 2018-2019,

driven by the need for decarbonization, green hydrogen production, and the development of the bio-economy. More recently, it has gained further relevance in connection with methanation, methanol synthesis, SAF production, carbon capture, utilization and storage (CCUS), and, more broadly, Power-to-X technologies. Experimental studies on the oxy-steam gasification of sewage sludge in fluidized beds remain relatively scarce compared to those available for lignocellulosic biomass.

The research activities, primarily experimental in nature, will include the application of key feedstock characterization techniques: proximate and ultimate analyses; determination of the higher heating value (HHV); chlorine and sulfur quantification; metal analysis by ICP-MS; particle morphology and density characterization; and laboratory-scale gasification campaigns in fluidizedbed

reactors using oxygen-steam mixtures as gasifying agents.

The effects of the main operating parameters will be systematically investigated, including temperature, equivalence ratio, steam-to-carbon ratio, steam-to-oxygen ratio, and fluidization velocity. The objective will be to optimize syngas yield, H_2/CO ratio, tar minimization, and process stability.

The possible use of catalytic and/or adsorbent systems, either in-bed or in downstream configurations, will also be explored for tar reduction and for the capture of CO_2 and micropollutants

such as sulfur compounds potentially present in the feedstock. The aim is to obtain syngas directly suitable for upgrading processes.

The second part of the PhD work will focus on modeling the downstream syngas upgrading stage, with particular attention to process integration with green hydrogen. This will enable the assessment of the significant contribution that can arise from combining the sustainable exploitation of residual biomass resources with Power-to-Gas technologies, ultimately aimed at the synthesis of bioelectrofuels.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD research activities will be carried out using the recently acquired equipment available in the modern CNR-STEMS laboratory located at Viale Marconi, as well as facilities located at the DICMAPI Department in Piazzale Tecchio and the laboratories in Via Metastasio.

In addition to equipment for fuel characterization, including a CHNS elemental analyzer for ultimate

analysis, a macro-TGA for proximate analysis, a calorimeter bomb for heating value determination, ion chromatography (IC) for chlorine and fluorine analysis, and ICP-MS for metal analysis, the CNRSTEMS

laboratories provide advanced instrumentation for material characterization. These include:

- ☐ X-ray diffraction (XRD) for phase crystallinity assessment;
- ☐ Scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS) for morphological and surface chemical composition analyses;
- ☐ N₂ adsorption at 77 K for porosity and specific surface area determination;
- ☐ X-ray fluorescence (XRF) for chemical composition analysis;
- ☐ Laser particle size analyzers for particle size distribution measurements;
- ☐ Reactive molecule chemisorption systems (H₂, NH₃, CO₂, O₂) for the investigation of redox properties (H₂-TPR, O₂-TPO) and surface acidity/basicity characterization (NH₃-TPD, CO₂-TPD).

Laboratory-scale reactors specifically designed and developed for dedicated applications are also available, including fixed-bed reactors, fluidized-bed reactors, microreactors, and batch reactors. All reactors are equipped with advanced control and regulation systems, as well as instrumentation for continuous monitoring and recording of operating parameters. Gas analyzers installed downstream of the reactors enable continuous online monitoring of selected reaction products, while collection systems are available for offline analyses using liquid and gas chromatography, volumetric titration, elemental analysis, and thermogravimetric analysis.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

As previously mentioned, the PhD activity is part of a broader European research project involving a consortium of 21 partners, including 13 European partners (including CNR-STEMS) and 8 Indian partners from both academia and industry. This international network will provide valuable opportunities for training and research stays abroad.

Project Consortium:

1. Politecnico di Milano (POLIMI)
2. National Research Council of Italy (CNR)
3. University of Naples Federico II (UNINA)
4. Centre for Research and Technology Hellas (CERTH)
5. Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO)
6. Plenesys (PLE)
7. Aristeng SARL (ARI)
8. HyChem Química Sustentável S.A. (HYC)
9. Goodyear S.A. (GDY)
10. German Biomass Research Center (DBFZ)
11. University of Ulster (UU)
12. BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST)
13. Veltis (VEL)
14. Indian Institute of Technology Madras (IITM)
15. Central University of Punjab (CUP)
16. Annamalai University (AMU)
17. National Institute of Technology Calicut (NITC)
18. Srinivas Waste Management Services Private Limited (SWMS)
19. Acclaim Technology Services India Private Limited (ATS)
20. Tridiagonal Solutions Private Limited (TSPL)

21. THG Publishing Private Limited (HIN)

These institutions constitute a strong international research and industrial network that can offer the PhD candidate valuable opportunities for scientific collaboration, specialized training, and mobility periods abroad.

ITA

Proponente: FABRIZIO SCALA - finanziata da CNR-STEMS (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili)

Tematica di ricerca proposta:

Oxy-steam gassificazione di fanghi civili per la produzione di combustibili.

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

L'attività di dottorato si inserisce in quella del progetto Europeo HORIZON-CL5-2025-02-D2-08 BHARAT-EU Bio-based renewable Hydrogen from Agro/forestry/biogenic Residues through Advanced Technologies - Project: 101269621. L'attività di ricerca si focalizzerà sulla valorizzazione

di fanghi civili per la produzione di bio-combustibili. Più specificamente, in Italia vengono prodotti oltre 3 milioni di tonnellate all'anno di fanghi umidi, la cui gestione è sempre più complessa a causa dei crescenti costi, delle restrizioni normative e della presenza di contaminanti emergenti come PFAS, farmaci, microplastiche e metalli pesanti. Una soluzione promettente per la loro valorizzazione è la gassificazione. Rispetto alla gassificazione tradizionale ad aria, quella con ossigeno-vapore produce un syngas di qualità superiore, senza azoto e con un rapporto H_2/CO più prossimo a quello richiesto dai successivi stadi di upgrade (metanazione, metanolazione, produzione di SAF, etc.). Dal punto di vista scientifico, questa tematica di ricerca ha subito una forte

accelerazione a partire dal 2018-2019 per affrontare le problematiche legate alla decarbonizzazione, produzione di idrogeno verde, bioeconomia, per poi affermarsi recentemente per i processi di metanazione, metanolazione, produzione di SAF, CCUS e in generale power-to-X. Infine, riguardo all'oxy-steam gasification di fanghi civili in letto fluidizzato, la letteratura sperimentale è molto più limitata rispetto alle biomasse legnose.

Le attività a carattere prevalentemente sperimentale riguarderanno l'utilizzo delle principali tecniche di caratterizzazione dei feedstock: analisi immediata (*proximate analysis*) e analisi elementare (*ultimate analysis*); determinazione del potere calorifico; quantificazione del cloro e dello zolfo; analisi dei metalli mediante spettrometria ICP-MS; caratterizzazione della morfologia delle particelle e della loro densità e campagne sperimentali di gassificazione su scala di laboratorio in reattori a letto fluido con miscele di ossigeno e vapore come agenti gassificanti. Saranno studiati in modo sistematico gli effetti dei principali parametri operativi, tra cui: temperatura; rapporto di equivalenza (*equivalence ratio*); rapporto vapore/carbonio (*steam-to-carbon ratio*); rapporto vapore/ossigeno (*steam-to-oxygen ratio*); velocità di fluidizzazione con l'obiettivo di ottimizzare la resa in syngas; il rapporto H_2/CO ; la minimizzazione dei tar; la stabilità del processo. Potrà essere inoltre presa in considerazione la possibilità di utilizzare sistemi catalitici o adsorbenti sia in configurazione in-bed che downstream per l'abbattimento dei tar e la cattura di CO_2 o di microinquinanti come lo zolfo eventualmente presente nel feedstock per ottenere un syngas direttamente utilizzabile per l'unità di upgrade. La seconda parte del lavoro di tesi si focalizzerà sulla

modellazione del successivo stadio di upgrade del syngas prodotto con particolare attenzione alla possibilità di integrazione del processo con idrogeno verde per la valutazione del contributo significativo che può derivare dall'integrazione tra lo sfruttamento sostenibile delle biomasse residuali e le tecnologie power-to-gas, finalizzate alla sintesi di bioelettrocarburi (*bioelectrofuels*)

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software,

laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività del dottorando verrà condotta usufruendo di tutte le attrezzature di recente acquisizione presenti in un moderno laboratorio realizzato presso la sede di viale Marconi del CNR_STEMS oltre

a quelle situate nella sede di piazzale Tecchio presso il dipartimento DICMaPI, e nei laboratori di via

Metastasio. Più specificamente, in aggiunta alle apparecchiature per le caratterizzazioni dei combustibili (analizzatore elementare CHNS per *ultimate analysis*, di una macro TGA per proximate

analysis, bomba calorimetrica per il potere calorifico eventualmente associata a IC per analisi di Cloro e Fluoro e all'ICP_MS per l'analisi dei metalli), presso i laboratori CNR_STEMS sono disponibili

strumenti per la caratterizzazione dei materiali, quali la diffrazione a raggi X (XRD) per la valutazione

della cristallinità delle fasi presenti; la microscopia elettronica a scansione (SEM-EDS) per le analisi

morfologiche, associata all'analisi EDS per la determinazione della composizione chimica superficiale; l'adsorbimento di N₂ a 77 K per lo studio della porosità e la misura dell'area superficiale;

XRF per la determinazione della composizione chimica; la granulometria laser per lo studio della distribuzione dimensionale delle particelle; e il chemisorbimento di molecole reattive (H₂, NH₃, CO₂,

O₂) per lo studio del comportamento redox (H₂-TPR, O₂-TPO) e per la definizione dell'acidità e della

basicità superficiali (NH₃-TPD, CO₂-TPD). Sono inoltre disponibili reattori in scala da laboratorio, progettati e sviluppati ad hoc per specifiche applicazioni, tra cui reattori a letto fisso, reattori a letto fluidizzato, microreattori e reattori batch.

Tutti i reattori sono dotati di sistemi di controllo e regolazione, nonché di strumenti per il monitoraggio e la registrazione continua nel tempo dei parametri operativi. A valle dei reattori sono installati analizzatori di gas che consentono il controllo online e continuo di una selezione di prodotti

di reazione, oltre a sistemi di raccolta dei prodotti destinati ad analisi offline, quali cromatografia in fase liquida e gassosa, titolazione volumetrica, analisi elementare e termogravimetria.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Come anticipato, le attività del dottorato di ricerca si inseriscono in quelle più ampie di un progetto europeo che vede il consorzio di 21 partners, come di seguito riportato, costituito da 13 partner EU (compreso CNR_STEMS) e 8 partner indiani appartenenti sia al mondo accademico che all'industria

che potranno sicuramente offrire al candidato l'opportunità di avere periodi formativi.

1. POLITECNICO DI MILANO (POLIMI)
2. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR)
3. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II (UNINA)
4. ETHNIKO KENTRO EREVNAS KAI TECHNOLOGIKIS ANAPTYXIS- CENTRE FOR RESEARCH AND TECHNOLOGY HELLAS (CERTH)
5. NIBIO - NORSK INSTITUTT FOR BIOØKONOMI (NIBIO)
6. PLENESYS (PLE)
7. ARISTENG SARL (ARI),
8. HYCHEM QUIMICA SUSTENTAVEL S.A (HYC)
9. GOODYEAR SA (GDY),

10. DBFZ DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM GEM (DBFZ)
11. UNIVERSITY OF ULSTER (UU)
12. BEST - BIOENERGY AND SUSTAINABLE TECHNOLOGIES GM (BEST)
13. VELTIS MAKE (VEL)
14. INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY MADRAS (IITM)
15. CENTRAL UNIVERSITY OF PUNJAB (CUP)
16. ANNAMALAI UNIVERSITY (AMU)
17. NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY CALICUT (NITC)
18. SRINIVAS WASTE MANAGEMENT SERVICES PRIVATE LIMITED (SWMS)
19. ACCLAIM TECHNOLOGY SERVICES INDIA PRIVATE LIMITED (ATS)
20. TRIDIAGONAL SOLUTIONS PRIVATE LIMITED (TSPL)
21. THG PUBLISHING PRIVATE LIMITED (HIN)

45) Proponent: FABRIZIO SCALA - ENG

Proposed research topic: ADVANCED MATERIALS FOR SORPTION-ENHANCED PROCESSES IN FLUIDIZED BED REACTORS

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives)

Sorption-enhanced (SE) processes have recently attracted interest, especially in the energy sector, as they allow higher productivity by shifting chemical equilibrium using a solid sorbent. This concept

has been successfully applied, for example, to gasification, reforming and catalytic hydrogenation. Several SE processes have been proposed in which the sorbent removes a gaseous species, for example CO₂ or H₂O, from the reacting medium. Since the saturated sorbent has to be regenerated, all these processes involve cyclic operation. To perform the operation in a steady state, it is necessary to use fluidized bed reactors so that the sorbent particles can be easily and continuously transferred from the main reactor to the regeneration reactor and vice versa.

The sorbent particles have to meet a number of requirements to be considered for practical operation. They need to have a high and stable capture capacity, good mechanical and thermal resistance, be non-toxic and be as cost-effective as possible. Both natural and synthetic sorbents have been considered as potential candidates so far. However, the research of suitable sorbents is to date one of the bottlenecks that limits the development of this technology.

In this thesis, new advanced materials for sorption-enhanced processes will be developed using chemical looping schemes in fluidized bed reactors. The research activity will require, after a careful

literature review, the analysis of the thermodynamic and kinetic limits of the possible sorbent-gas species couples, taking into account the unwanted side reactions with other gaseous compounds.

Once the suitable processes and sorbents have been selected, the concept of SE will be experimentally studied in available laboratory-scale dual fluidized bed reactors. The experimental activity will consist in the synthesis and characterization of the behavior of the sorbent particles during repeated cycles, in terms of reaction rate, maximum conversion, attrition rate and fragmentation of the sorbent particles, as a function of the reaction temperature, the concentration of the gaseous species and the amount of sorbent. The onset of possible side reactions in the temperature range of interest will also be studied. Finally, a techno-economic analysis and life cycle assessment of the selected SE processes will be performed to understand their feasibility compared to existing technologies.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations

with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

In the laboratory, several fluidized bed reactors of different sizes, from laboratory to bench-scale, as well as auxiliary equipment suitable for the characterization of gaseous and solid flows, are available. In particular, a recently developed dual fluidized bed apparatus will be used in the proposed activity. Collaborations with suitable Italian and foreign research laboratories will be started, with particular attention to the development of tailor-made advanced material sorbent particles.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

During the PhD, a 3-6 month stay at a foreign research laboratory will be required, most likely at the end of the second year or at the beginning of the third year. This stay will include research activity to develop tailor-made advanced material sorbent particles.

ITA

Proponente: FABRIZIO SCALA

Tematica di ricerca proposta: MATERIALI AVANZATI PER PROCESSI SORPTION-ENHANCED IN REATTORI A LETTO FLUIDO

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

I processi sorption-enhanced (SE) hanno recentemente suscitato molto interesse, soprattutto nel settore energetico, poiché consentono di ottenere una maggiore produttività, grazie allo spostamento dell'equilibrio chimico utilizzando un sorbente solido. Questo concetto è stato applicato con successo, ad esempio, alla gassificazione, al reforming e all'idrogenazione catalitica. Sono stati proposti diversi processi SE in cui il sorbente rimuove una specie gassosa, ad esempio CO₂

o H₂O, dal mezzo reagente. Poiché il sorbente saturo deve essere rigenerato, tutti questi processi comportano un funzionamento ciclico. Per eseguire il funzionamento in stato stazionario, è necessario utilizzare reattori a letto fluidizzato in modo che le particelle di sorbente possano essere trasferite facilmente e in modo continuo dal reattore principale al reattore di rigenerazione e viceversa.

Le particelle di sorbente devono soddisfare una serie di requisiti per essere considerate per il funzionamento pratico. Devono avere un'elevata e stabile capacità di cattura, una buona resistenza meccanica e termica, essere non tossiche e il più possibile economiche. Finora, sia i sorbenti naturali

che quelli sintetici sono stati considerati come potenziali candidati. Tuttavia, la ricerca di sorbenti adatti ad oggi risulta uno dei punti critici che bloccano lo sviluppo della tecnologia.

In questa tesi, verranno sviluppati nuovi materiali avanzati per i processi sorption-enhanced di chemical looping in reattori a letto fluidizzato. L'attività di ricerca richiederà, dopo un'attenta revisione della letteratura, l'analisi dei limiti termodinamici e cinetici delle possibili coppie sorbentespecie

gassose, tenendo conto di possibili reazioni secondarie indesiderate con altri composti gassosi. Una volta selezionati i processi e i sorbenti idonei, il concetto di SE verrà studiato sperimentalmente in reattori a doppio letto fluidizzato disponibili in scala di laboratorio. L'attività sperimentale consisterà nella sintesi e caratterizzazione del comportamento delle particelle di sorbente durante cicli ripetuti, in termini di velocità di reazione, conversione massima, velocità di attrito e frammentazione delle particelle di sorbente, in funzione della temperatura di reazione, della concentrazione delle specie gassose e della quantità di sorbente. Verrà inoltre studiata l'insorgenza di possibili reazioni secondarie nell'intervallo di temperatura di interesse. Infine, verrà eseguita un'analisi tecnico-economica e una valutazione del ciclo di vita dei processi SE selezionati per comprenderne la fattibilità rispetto alle tecnologie esistenti.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

In laboratorio sono disponibili diversi reattori a letto fluido di diverse dimensioni, nonché apparecchiature ausiliarie adatte alla caratterizzazione di flussi gassosi e solidi. In particolare, nell'attività proposta verrà utilizzato un apparato a doppio letto fluido di recente sviluppo. Verranno avviate collaborazioni con laboratori di ricerca italiani ed esteri idonei, con particolare attenzione

allo sviluppo di particelle sorbenti utilizzando materiali e tecniche avanzate.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Durante il dottorato, sarà richiesto un soggiorno di 3-6 mesi presso un laboratorio di ricerca straniero, molto probabilmente alla fine del secondo anno o all'inizio del terzo anno. Questo soggiorno includerà attività di ricerca per sviluppare particelle sorbenti avanzate.

46) Proponent: FABRIZIO SCALA – financed by the European project BHARAT-EU - ENG
Proposed research topic: INNOVATIVE PROCESSES FOR THE PRODUCTION OF
RENEWABLE HYDROGEN THROUGH BIOMASS THERMOCONVERSION
Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

The proposed research project is part of the European project: *BHARAT-EU - Bio-based renewable hydrogen from agro/forestry/biogenic residues through advanced technologies*. The BHARAT-EU project aims to implement a full supply chain that, starting from agricultural, forestry, and industrial biogenic waste, combines thermochemical and biological technologies developed in a collaborative framework between European and Indian partners to produce renewable hydrogen. Specifically, the biomass is initially converted into basic chemicals such as syngas or biogas and subsequently into methane, which is finally pyrolyzed into hydrogen.

This specific doctoral project will consist of a theoretical-modeling and experimental study of novel fluidized bed conversion processes of biomass into syngas and syngas into methane (or other efuels).

In particular, sorption-enhanced processes have recently attracted interest, especially in the energy sector, as they allow higher productivity by shifting chemical equilibrium using a solid sorbent. This concept has been successfully applied, for example, to gasification, reforming and catalytic hydrogenation. Several SE processes have been proposed in which the sorbent removes a gaseous species, for example CO₂ or H₂O, from the reacting medium. Since the saturated sorbent has to be regenerated, all these processes involve cyclic operation. To perform the operation in a steady state, it is necessary to use fluidized bed reactors so that the sorbent particles can be easily and continuously transferred from the main reactor to the regeneration reactor and vice versa. The sorbent particles have to meet a number of requirements to be considered for practical operation. They need to have a high capture capacity, good mechanical and thermal resistance, be non-toxic and be as cost-effective as possible. Both natural and synthetic sorbents have been considered as potential candidates so far.

In this thesis, new sorption-enhanced processes will be developed using advanced chemical looping schemes in fluidized bed reactors. The research activity will require, after careful literature review, analysis of the thermodynamic and kinetic limits of the possible sorbent-gas species couples, taking into account the unwanted side reactions with other gaseous compounds. Once the suitable processes and sorbents have been selected, the concept will be experimentally studied in available laboratory-scale dual fluidized bed reactors. The experimental activity will consist in the characterization of the behavior of the sorbent particles during repeated cycles, in terms of reaction rate, maximum conversion, attrition rate and fragmentation of the sorbent particles, as a function of the reaction temperature, the concentration of the gaseous species and the amount of sorbent. The onset of possible side reactions in the temperature range of interest will also be studied. Finally, a techno-economic analysis and life cycle assessment of the selected processes will be performed to understand their feasibility compared to existing technologies.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

In the laboratory, several fluidized bed reactors of different sizes, from laboratory to bench-scale, as well as auxiliary equipment suitable for the characterization of gaseous and solid flows, are available. In particular, a recently developed dual fluidized bed apparatus will be used in the proposed activity. Collaborations with suitable Italian and foreign research laboratories will be started, with particular attention to the development of novel tailor-made sorbent materials.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

During the PhD, a 3-6 month stay at a foreign research laboratory will be required, most likely at the end of the second year or at the beginning of the third year. This stay will include research activity to develop novel tailor-made sorbent materials.

ITA

Proponente: FABRIZIO SCALA – finanziata dal progetto europeo BHARAT-EU

Tematica di ricerca proposta: PROCESSI INNOVATIVI PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO RINNOVABILE TRAMITE TERMOCONVERSIONE DI BIOMASSA

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

Il progetto di ricerca proposto si inquadra nell'ambito del progetto europeo: *BHARAT-EU - Bio-based renewable Hydrogen from Agro/forestry/biogenic Residues through Advanced Technologies*. Il progetto BHARAT-EU si propone di implementare una filiera completa che a partire da rifiuti biogenici agricoli, forestali e industriali, combinando tecnologie termochimiche e biologiche sviluppate in un quadro di collaborazione tra partner europei e indiani, porti alla formazione di idrogeno rinnovabile. In particolare, la biomassa viene inizialmente convertita in prodotti chimici di

base come syngas o biogas e successivamente in metano, che viene infine pirolizzato in H_2 . Questo specifico progetto di dottorato consisterà in un'attività di studio teorico-modellistico e sperimentale di innovativi processi di conversione in letto fluidizzato della biomassa in syngas e del syngas in metano (o altri e-fuels). In particolare, i processi sorption-enhanced hanno recentemente suscitato molto interesse, soprattutto nel settore energetico, poiché consentono di ottenere una maggiore produttività, grazie allo spostamento dell'equilibrio chimico utilizzando un sorbente solido. Questo concetto è stato applicato con successo, ad esempio, alla gassificazione, al reforming e all'idrogenazione catalitica. Sono stati proposti diversi processi SE in cui il sorbente rimuove una specie gassosa, ad esempio CO_2 o H_2O , dal mezzo reagente. Poiché il sorbente saturo deve essere rigenerato, tutti questi processi comportano un funzionamento ciclico. Per eseguire il funzionamento in stato stazionario, è necessario utilizzare reattori a letto fluidizzato in modo che le particelle di sorbente possano essere trasferite facilmente e in modo continuo dal reattore principale al reattore di rigenerazione e viceversa.

Le particelle di sorbente devono soddisfare una serie di requisiti per essere considerate per il funzionamento pratico. Devono avere un'elevata capacità di cattura, una buona resistenza meccanica e termica, essere non tossiche e il più possibile economiche. Finora, sia i sorbenti naturali

che quelli sintetici sono stati considerati come potenziali candidati.

In questa tesi, verranno sviluppati nuovi processi sorption-enhanced utilizzando schemi avanzati di chemical looping in reattori a letto fluidizzato. L'attività di ricerca richiederà, dopo un'attenta revisione della letteratura, l'analisi dei limiti termodinamici e cinetici delle possibili coppie sorbente-specie gassose, tenendo conto di possibili reazioni secondarie indesiderate con altri composti gassosi. Una volta selezionati i processi e i sorbenti idonei, il concetto verrà studiato sperimentalmente in reattori a doppio letto fluidizzato disponibili in scala di laboratorio. L'attività sperimentale consisterà nella caratterizzazione del comportamento delle particelle di sorbente durante cicli ripetuti, in termini di velocità di reazione, conversione massima, velocità di attrito

frammentazione delle particelle di sorbente, in funzione della temperatura di reazione, della concentrazione delle specie gassose e della quantità di sorbente. Verrà inoltre studiata l'insorgenza di possibili reazioni secondarie nell'intervallo di temperatura di interesse. Infine, verrà

eseguita un'analisi tecnico-economica e una valutazione del ciclo di vita dei processi selezionati per comprenderne la fattibilità rispetto alle tecnologie esistenti.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende)

potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

In laboratorio sono disponibili diversi reattori a letto fluido di diverse dimensioni, nonché apparecchiature ausiliarie adatte alla caratterizzazione di flussi gassosi e solidi. In particolare, nell'attività proposta verrà utilizzato un apparato a doppio letto fluido di recente sviluppo. Verranno avviate collaborazioni con laboratori di ricerca italiani ed esteri idonei, con particolare attenzione allo sviluppo di materiali sorbenti innovativi.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Durante il dottorato, sarà richiesto un soggiorno di 3-6 mesi presso un laboratorio di ricerca straniero, molto probabilmente alla fine del secondo anno o all'inizio del terzo anno. Questo soggiorno includerà attività di ricerca per sviluppare materiali sorbenti innovativi

47) Proponent: Giuseppe Scherillo - ENG

Proposed research topic: Modelling mass transport and sorption thermodynamics of mixture of low molecular weight compounds in glassy polymers.

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

The design of separation processes of gas/vapour fluid mixtures through dense glassy polymeric matrixes displaying a high T_g , represents a challenging task since it requires a detailed understanding (on a molecular scale level) of sorption and mass transport thermodynamics in non-equilibrium glassy phases in which possible strong cross and self-association interactions (i.e. HB, Lewis Acid-base interactions) occur. In addition, in situ multicomponent measurements are not conventional for the separation industry, so that the development of a theoretical predictive tool for these processes is fundamental. To this aim the present PhD project proposes the set-up of a model which extends the most advanced statistical thermodynamics model available in literature (Perturbed Chain Statistical Fluid Thermodynamics, i.e. PC-SAFT in its modular version with associative contribution) to the non-equilibrium glassy state, by adopting a rational thermodynamic approach based upon the use of internal state variables (NETGP framework). The model will be numerically implemented in order to predict transient and steady-state permeation of ternary/quaternary mixtures of gas/vapors of interest in separation industry through several high performances polymeric membranes (PP0, Polyimides, PTMSP). The predictions will be validated against data collected in our labs based upon an innovative multiscale and multidisciplinary procedure (i.e. combining gravimetry, mass spectroscopy and in situ FT-IR spectroscopy).

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

Equipments available for the proposed project:

- Permeabilimeters and Sorption Gravimetric apparatus equipped for both single fluid and multicomponent fluid mixtures tests, which are available at the mass transport Labs-DICMAPI (Prof. Giuseppe Scherillo/Prof. Giuseppe Mensitieri).
- In situ multicomponent-FT-IR sorption apparatus (Prof. Giuseppe Scherillo/Prof. Giuseppe Mensitieri), hosted at IPCB-CNR.
- Workstations for high speed calculations available at mass transport Labs-DICMAPI (Prof. Giuseppe Scherillo/Giuseppe Mensitieri).

Collaborations available for the proposed project:

- Prof. Karel Friess, head of Laboratory of Membrane Separation Processes, University of Chemistry and Technology (UCT) of Prague (CZ).
- Dr. Marianna Pannico / Dr. Pellegrino Musto IPCB-CNR
- Prof. Ferruccio Doghieri and Prof. Matteo Minelli: Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering Department, University of Bologna Alma Mater Studiorum.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

Period abroad 6-12 months at University of Chemistry and Technology (UCT) of Prague (CZ) under the guidance of Prof. Karel Friess, head of Laboratory of Membrane Separation Processes.

ITA

Proponente: Giuseppe Scherillo

Tematica di ricerca proposta: Modellazione del trasporto di massa e della termodinamica di assorbimento di miscele di penetranti a basso peso molecolare in polimeri vetrosi

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture X Ingegneria chimica

Tecnologie e sistemi di produzioneProgettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

Laprogettazione di processi di separazione di miscele di gas/vapori attraverso matrici polimeriche dense e vetrose ad alta T_g è una tematica complessa e non convenzionale poiché richiede una conoscenza dettagliata su scala molecolare dei meccanismi di assorbimento e di trasporto di massa in fasi in non-equilibrio di tipo vetroso ed in cui possono aversi forti interazioni specifiche self e cross-molecolari (ad esempio interazioni a ponte idrogeno o interazioni acido-base di Lewis). In aggiunta, misure multicomponenti non sono convenzionali su scala industriale nel settore della separazione, per cui lo sviluppo di un tool teorico predittivo per tali processi svolge un ruolo chiave. A tale scopo il presente progetto di dottorato propone la messa a punto di un modello che estende la teoria di termodinamica statistica attualmente più avanzata in letteratura (Perturbed Chain Statistical Fluid Thermodynamics, i.e. PC-SAFT nella sua versione modulare con termine associativo) a stati di non-equilibrio vetrosi, adottando un approccio della termodinamica razionale basato sull'uso di variabili di stato interne (NETGP approccio). Il modello sarà implementato numericamente al fine di predire processi di permeazione transienti e stazionari di miscele ternarie/quaternarie di gas/vapori di interesse nell'industria di separazione, in diverse membrane polimeriche altamente performanti (Poliimmidi, PP0, PTSMP). Le predizioni saranno validate utilizzando dati ottenuti nei nostri laboratori mediante approcci innovativi multiscala e multidisciplinari (FT-IR in situ in combinazione con misure gravimetriche e di spettroscopia di massa).

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Attrezzature disponibili per l'attività proposta:

- Permeabilimetri e sistemi di misura gravimetrica, attrezzati sia per misure su singolo fluido sia per miscele di gas/vapori, che sono disponibili presso i laboratori di trasporto di massa del DICMAPI (Prof. Giuseppe Scherillo/Prof. Giuseppe Mensitieri).
- Sistema di misura di assorbimento multicomponente, basato su utilizzo di spettroscopia FT-IR in situ (di pertinenza dei Prof. Giuseppe Scherillo/Prof. Giuseppe Mensitieri), e dislocata presso i laboratori dell'IPCB-CNR.
- Workstations per calcolo numerico avanzato disponibili presso i laboratori di trasporto di massa del DICMAPI (Prof. Giuseppe Scherillo/Prof. Giuseppe Mensitieri).

Collaborazioni coinvolte nell'attività proposta:

- Prof. Karel Friess head of Laboratory of Membrane Separation Processes, University of Chemistry and Technology (UCT)- Prague.
- Dr. Marianna Pannico / Dr. Pellegrino Musto IPCB-CNR
- Prof. Ferruccio Doghieri and Prof. Matteo Minelli: Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna Alma Mater Studiorum.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Periodo all'estero 6-12 mesi presso l' University of Chemistry and Technology (UCT) di Prague (CZ) sotto la supervision del Prof. Karel Friess, direttore del: Laboratory of Membrane Separation Processes.

48) Proponent: Prof. Mariano Sirignano - ENG

Proposed research topic: Experimental investigation of bio-based polymer combustion for propulsion applications

Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

Poly(lactic acid) (PLA) is a bio-based polymer that can be processed by additive manufacturing and may be used as a fuel component in hybrid propulsion systems. Its renewable origin does not automatically imply climate neutrality, but it may enable complex grain geometries and supply chains less dependent on fossil feedstocks. Assessing its actual applicability requires reproducible data on pyrolysis, ignition, flame stabilization, surface regression and extinction under controlled oxidizer-flow conditions.

The project will develop an optically accessible atmospheric-pressure combustion cell. The PLA specimen will be mounted horizontally and flush with the lower wall of the cell, with the combustible surface facing upward and the oxidizer flowing tangentially above it, thus locally representing a portion of the grain wall. The first stage will include design, fluid-dynamic verification, calibration of feeding systems and development of procedures for controlled ignition and shutdown. Thermal degradation of different PLA grades will first be studied by thermogravimetric analysis and pyrolysis tests.

During the experimental stage, oxidizer composition and velocity, specimen thickness and formulation, and ignition procedure will be varied. High-speed imaging, chemiluminescence and, where available, thermography will be used to measure ignition delay, flame position and dynamics, regression rate and extinction conditions. Mass loss and gaseous products will be determined through balances and FTIR/GC-MS analysis. The data will support simplified heat- and mass-transfer models and the estimation of parameters for subsequent CFD simulations.

The objectives are to build and validate the experimental platform; produce a database on PLA combustion in a configuration representative of the grain wall; identify the variables controlling ignition, self-sustained combustion and extinction; and assess the benefits and limitations of PLA for hybrid propulsion. The final semester will be devoted to cross-validation, uncertainty analysis and the definition of design guidance.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD student will have access to the DICMaPI combustion laboratories, including controlled gas-feeding systems, data acquisition, optical diagnostics and high-speed imaging. The experimental cell will be designed and built within the collaboration with Space Frontier S.r.l. Computational and design tools will be available for fluid-dynamic analysis, image processing, balances and simplified modeling.

CNR-STEMS will contribute thermogravimetric analysis and FTIR/GC-MS characterization of pyrolysis and combustion products. Space Frontier will provide application requirements, support the definition of specimens representative of the grain wall and compare the results with conditions relevant to hybrid propulsion. CNRS-ICARE will contribute expertise in condensed-fuel combustion, optical diagnostics and space propulsion.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A six-month research stay is planned, preferably during the third year, at CNRS-ICARE (Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement) in Orléans, within the Combustion and

Reactive Systems and Space Propulsion and High-Speed Flows thematic groups. Activities will address advanced optical diagnostics, comparative testing of condensed fuels and analysis of pyrolysis and combustion products. The stay will provide independent method validation and comparison with the results obtained in Naples.

ITA

Proponente: Prof. Mariano Sirignano

Tematica di ricerca proposta:

Indagine sperimentale sulla combustione di polimeri bio-based per applicazioni di propulsione

Curriculum di riferimento:

X Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

X Ingegneria chimica

Tecnologie e sistemi di produzione

Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

L'acido polilattico (PLA) è un polimero bio-based, lavorabile mediante manifattura additiva e potenzialmente utilizzabile come componente combustibile in sistemi di propulsione ibrida. La sua origine rinnovabile non implica automaticamente neutralità climatica, ma può consentire la progettazione di grani con geometrie complesse e filiere meno dipendenti da materie prime fossili. Per valutarne l'effettiva applicabilità sono necessari dati riproducibili su pirolisi, accensione, stabilizzazione della fiamma, regressione superficiale ed estinzione in condizioni di flusso ossidante controllato.

Il progetto svilupperà una cella di combustione otticamente accessibile a pressione atmosferica. Il provino di PLA sarà montato orizzontalmente a filo della parete inferiore della cella, con la superficie combustibile rivolta verso l'alto e il flusso ossidante tangenziale alla superficie, così da rappresentare localmente una porzione della parete del grano. La prima fase comprenderà progettazione, verifica fluidodinamica, calibrazione dei sistemi di alimentazione e sviluppo di procedure per accensione e spegnimento controllati. La degradazione termica dei diversi gradi di PLA sarà preliminarmente studiata mediante analisi termogravimetrica e prove di pirolisi.

Nella fase sperimentale saranno variati composizione e velocità dell'ossidante, spessore e formulazione del provino e modalità di accensione. Imaging ad alta velocità, chemiluminescenza e, ove disponibile, termografia saranno impiegati per misurare ritardo di accensione, posizione e dinamica della fiamma, velocità di regressione e condizioni di estinzione. La perdita di massa e i prodotti gassosi saranno determinati mediante bilanci e analisi FTIR/GC-MS. I dati saranno utilizzati per modelli semplificati di trasferimento di calore e massa e per la stima di parametri utili a successive simulazioni CFD.

Gli obiettivi sono realizzare e validare la piattaforma sperimentale; produrre un database sulla combustione del PLA in configurazione rappresentativa della parete del grano; identificare le variabili che controllano accensione, combustione autosostenuta ed estinzione; valutare vantaggi e limiti del materiale per propulsori ibridi. L'ultimo semestre sarà dedicato alla validazione incrociata dei risultati, all'analisi di incertezza e alla definizione di indicazioni progettuali.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il/la dottorando/a avrà accesso ai laboratori di combustione del DICMaPI, con sistemi di alimentazione controllata dei gas, acquisizione dati, diagnostica ottica e imaging ad alta velocità. La cella sperimentale sarà progettata e realizzata nell'ambito della collaborazione con Space Frontier S.r.l. Saranno disponibili strumenti di calcolo e progettazione per analisi fluidodinamica, elaborazione immagini, bilanci e modellazione semplificata.

CNR-STEMS contribuirà con analisi termogravimetrica e caratterizzazione FTIR/GC-MS dei prodotti di pirolisi e combustione. Space Frontier fornirà requisiti applicativi, supporto alla definizione dei provini rappresentativi della parete del grano e confronto con condizioni di interesse per la propulsione ibrida. CNRS-ICARE apporterà competenze in combustione di combustibili condensati, diagnostiche ottiche e propulsione spaziale.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un soggiorno di ricerca di sei mesi, preferibilmente nel terzo anno, presso CNRS-ICARE (Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement) a Orléans, nei gruppi tematici Combustion and Reactive Systems e Space Propulsion and High-Speed Flows. Le attività riguarderanno diagnostiche ottiche avanzate, prove comparative su combustibili condensati e analisi dei prodotti di pirolisi e combustione. Il soggiorno sarà finalizzato alla validazione indipendente dei metodi e al confronto dei risultati ottenuti a Napoli.

49) Proponent: Prof. Mariano Sirignano - ENG

Proposed research topic: Physicochemical analysis of carbonaceous particles formed from renewable and alternative fuels and correlation with fuel molecular structure

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

The introduction of renewable fuels, e-fuels and sustainable aviation fuels requires assessment not only of life-cycle CO₂ emissions but also of soot and ultrafine-particle formation. Adding oxygen to a fuel molecule may reduce its overall sooting tendency, but the effects on particle number, size, composition and reactivity depend on the functional group, carbon skeleton and combustion conditions. Systematic comparisons of molecular families under rigorously controlled conditions are still limited.

The project will investigate representative classes of fuels, including alcohols, ethers and polyoxymethylene dimethyl ethers, carbonates, furans and SAF components, used either neat or blended with reference fuels. Selection will be guided by molecular descriptors such as oxygen content, functional-group type and position, chain length and branching, and cyclic structure. Experiments will initially be performed in premixed and diffusion laminar flames while maintaining comparable carbon input, temperature and residence time; a limited number of cases will subsequently be investigated under turbulent conditions.

Temperature and major gas-phase species will be measured, including C₁-C₆ intermediates and polycyclic aromatic hydrocarbons. The particle phase will be investigated by in-situ optical diagnostics, LIF/LII, extinction or scattering, and aerosol sampling with electrical-mobility classification. Collected samples will be characterized by microscopy, Raman, FTIR, UV-Vis, thermogravimetric analysis and mass-spectrometric techniques available through collaborations. The results will form a consistent database linking fuel structure, flame chemistry, size distribution and particulate properties.

The objective is to identify molecular descriptors and chemical pathways responsible for particle formation and evolution, distinguishing reductions in particulate mass from changes in ultrafine-particle number. Multivariate analysis and comparison with kinetic models will support structure-performance rules for selecting fuels and blends with lower particle emissions, while explicitly defining validity ranges and uncertainties.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD student will have access to the DICMaPI combustion laboratories, equipped with premixed- and diffusion-flame burners, mass flow controllers, sampling systems, LIF/LII diagnostics and aerosol instrumentation for particle-size-distribution measurements. Raman, FTIR and UV-Vis spectroscopy, thermogravimetric analysis, microscopy, data-processing and modeling tools will be available.

CNR-STEMS will collaborate on the physicochemical and molecular characterization of particulate matter, including PAH and soluble-fraction analysis. The CRECK Modeling group at Politecnico di Milano will contribute detailed kinetic models for interpretation and fuel selection. Collaboration with the Department of Mechanical Engineering at TU Darmstadt, Reactive Flows and Diagnostics, will enable comparison with turbulent flames and advanced optical diagnostics.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A six-month research stay is planned, preferably between the second and third years, with the Reactive Flows and Diagnostics group at TU Darmstadt, headed by Prof. Andreas Dreizler. The

PhD student will investigate selected fuels and blends in turbulent flames using laser diagnostics for flame-structure and particle characterization. The results will be compared with those obtained in laminar flames in Naples to assess the transferability of fuel-structure/particle-formation relationships.

ITA

Proponente: Prof. Mariano Sirignano

Tematica di ricerca proposta: Analisi chimico-fisica delle particelle carboniose formate dalla combustione di combustibili rinnovabili e alternativi e correlazione con la struttura molecolare del combustibile

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

X Ingegneria chimica

Tecnologie e sistemi di produzione

X Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

L'introduzione di combustibili rinnovabili, e-fuels e sustainable aviation fuels richiede di valutarne non soltanto le emissioni di CO₂ su ciclo di vita, ma anche la formazione di particolato e di particelle ultrafini. L'aggiunta di ossigeno nella molecola può ridurre la tendenza complessiva alla formazione di soot, ma l'effetto su numero, dimensione, composizione e reattività delle particelle dipende dalla natura del gruppo funzionale, dalla struttura carboniosa e dalle condizioni di combustione. Mancano ancora studi sistematici che confrontino famiglie di molecole in condizioni rigorosamente controllate.

Il progetto analizzerà combustibili appartenenti a classi rappresentative, tra cui alcoli, eteri e poliossimetileneteri, carbonati, furani e componenti di SAF, impiegati puri o in miscela con combustibili di riferimento. La selezione sarà guidata da descrittori molecolari quali contenuto di ossigeno, tipo e posizione del gruppo funzionale, lunghezza e ramificazione della catena e struttura ciclica. Gli esperimenti saranno inizialmente condotti in fiamme laminari premiscelate e diffusionali, mantenendo confrontabili apporto di carbonio, temperatura e tempo di residenza; un numero limitato di casi sarà successivamente studiato in condizioni turbolente.

Saranno misurati temperatura e principali specie gassose, inclusi intermedi C₁-C₆ e idrocarburi policiclici aromatici. La fase particellare sarà studiata mediante diagnostiche ottiche in situ, LIF/LII, estinzione o scattering, e campionamento aerosol con classificazione elettromobilitica. I campioni raccolti saranno caratterizzati mediante microscopia, Raman, FTIR, UV-Vis, analisi termogravimetrica e tecniche di spettrometria di massa disponibili attraverso le collaborazioni. I risultati confluiranno in un database omogeneo che colleghi struttura del combustibile, chimica della fiamma, distribuzione dimensionale e proprietà del particolato.

L'obiettivo è individuare descrittori molecolari e percorsi chimici responsabili della formazione e dell'evoluzione delle particelle, distinguendo la riduzione della massa dalla variazione del numero di particelle ultrafini. Analisi multivariata e confronto con modelli cinetici permetteranno di formulare regole struttura-prestazione per la selezione di combustibili e blend a minore impatto emissivo, evidenziandone limiti di validità e incertezze.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il/la dottorando/a avrà accesso ai laboratori di combustione del DICMaPI, dotati di bruciatori per fiamme premiscelate e diffusionali, controller di portata massica, sistemi di campionamento, diagnostiche LIF/LII e strumentazione aerosol per la misura delle distribuzioni dimensionali. Saranno disponibili spettroscopia Raman, FTIR e UV-Vis, analisi termogravimetrica, microscopia e strumenti di elaborazione dati e modellazione.

CNR-STEMS collaborerà alla caratterizzazione chimico-fisica e molecolare del particolato, inclusa l'analisi di PAH e frazioni solubili. Il gruppo CRECK Modeling del Politecnico di Milano contribuirà all'interpretazione cinetica e alla selezione dei combustibili mediante modelli dettagliati. La collaborazione con il Department of Mechanical Engineering della TU Darmstadt, Reactive Flows and Diagnostics, consentirà il confronto con fiamme turbolente e diagnostiche ottiche avanzate.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un soggiorno di ricerca di sei mesi, preferibilmente tra il secondo e il terzo anno, presso il gruppo Reactive Flows and Diagnostics della TU Darmstadt, diretto dal Prof. Andreas Dreizler. Il/la dottorando/a studierà combustibili e miscele selezionati in fiamme turbolente, utilizzando diagnostiche laser per la caratterizzazione della struttura di fiamma e del particolato. I risultati saranno confrontati con quelli ottenuti nelle fiamme laminari di Napoli per verificare la trasferibilità delle relazioni struttura-combustibile/formazione di particelle.

50) Proponent: Prof. Mariano Sirignano - ENG

Proposed research topic: Simultaneous production and functionalization of carbon nanomaterials in a lab-scale reactor

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

Carbon nanomaterials, including carbon black, nanostructured carbon particles and porous carbons, are used in composites, catalysis, electrochemical storage, sensing and pollutant treatment. In many of these applications, performance depends not only on particle size and structure but also on surface chemistry. Functionalization is nevertheless mainly performed through post-synthesis treatments that are often batchwise, energy intensive and based on reagents and solvents requiring additional separation and purification steps.

The project will develop a continuous process in which particle formation and functionalization are integrated in a high-temperature environment. In the first stage, carbon nanomaterials will be produced in flame reactors and subsequently treated in a controlled tubular module. Temperature, residence time, atmosphere composition and functionalizing-agent concentration will be varied to identify conditions that selectively modify surface groups without impairing the carbon structure. In the second stage, the two modules will be integrated into a compact and modular reactor, using heat released during synthesis while controlling the interaction among particles, reactive species and combustion by-products.

The particles will be characterized in terms of size distribution, morphology, aggregation, carbon structure and surface composition by aerosol techniques, microscopy, Raman spectroscopy, FTIR and thermogravimetric analysis, complemented through collaborations by advanced surface-sensitive methods. Wettability, dispersion stability, electrical conductivity and photochemical activity will also be assessed. Mass and energy balances and simplified kinetic models will support data interpretation and the definition of operating windows.

The objectives are to clarify high-temperature functionalization mechanisms; establish process-structure-property relationships; demonstrate the feasibility of an integrated single-pass reactor; and define preliminary scale-up and energy-efficiency criteria. The expected outcome is an experimental proof of concept for the reproducible production of carbon nanomaterials with tunable surface properties.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD student will work mainly in the combustion and materials laboratories of DICMaPI, equipped with lab-scale flame reactors, mass-flow-controlled feeding systems, particle-sampling devices and optical diagnostics. Raman, FTIR and UV-Vis spectroscopy, thermogravimetric analysis, electron microscopy and dispersion-characterization tools will be available either directly or through University facilities.

The project will be carried out in collaboration with CNR-STEMS for the physicochemical and surface characterization of the particles and with the University of Campania Luigi Vanvitelli for the rheological and functional characterization of dispersions. Collaboration with the Nanomaterials Synthesis team at the Institute for Energy and Materials Processes - Reactive Fluids, University of Duisburg-Essen, will support gas-phase process development and the assessment of scalable reactor configurations.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A six-month research stay is planned, preferably between the end of the second year and the beginning of the third year, at the Institute for Energy and Materials Processes - Reactive Fluids, University of Duisburg-Essen, within the Nanomaterials Synthesis team led by Prof. Hartmut Wiggers. Activities will address gas-phase nanoparticle synthesis and treatment, in-situ diagnostics, comparison of reactor configurations and definition of scale-up criteria.

ITA

Proponente: Prof. Mariano Sirignano

Tematica di ricerca proposta:

Produzione e funzionalizzazione simultanee di nanomateriali carboniosi in un reattore su scala di laboratorio

Curriculum di riferimento:

Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

X Ingegneria chimica

Tecnologie e sistemi di produzione

X Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

I nanomateriali carboniosi, tra cui carbon black, particelle carboniose nanostrutturate e carboni porosi, sono impiegati in compositi, catalisi, accumulo elettrochimico, sensoristica e trattamento degli inquinanti. In molte di queste applicazioni le prestazioni dipendono non soltanto da dimensione e struttura delle particelle, ma anche dalla chimica superficiale. La funzionalizzazione viene tuttavia realizzata prevalentemente mediante trattamenti successivi alla sintesi, spesso discontinui, energivori e basati su reagenti e solventi che richiedono ulteriori operazioni di separazione e purificazione.

Il progetto intende sviluppare un processo continuo nel quale formazione e funzionalizzazione delle particelle siano integrate in ambiente ad alta temperatura. Nella prima fase saranno prodotti nanomateriali carboniosi in reattori a fiamma e successivamente trattati in un modulo tubolare controllato. Variando temperatura, tempo di residenza, composizione dell'atmosfera e concentrazione degli agenti funzionalizzanti saranno individuate le condizioni che modificano selettivamente i gruppi superficiali senza compromettere la struttura del materiale. Nella seconda fase i due moduli saranno integrati in un reattore compatto e modulare, sfruttando il calore del processo di sintesi e controllando l'interazione tra particelle, specie reattive e sottoprodotti della combustione.

Le particelle saranno caratterizzate in termini di distribuzione dimensionale, morfologia, grado di aggregazione, struttura carboniosa e composizione superficiale mediante tecniche aerosol, microscopia, Raman, FTIR, analisi termogravimetrica e, attraverso le collaborazioni disponibili, tecniche superficiali avanzate. Saranno inoltre valutate bagnabilità, stabilità delle dispersioni, conducibilità e attività fotochimica. Bilanci di materia ed energia e modelli cinetici semplificati supporteranno l'interpretazione dei risultati e la definizione delle finestre operative.

Gli obiettivi sono: chiarire i meccanismi di funzionalizzazione ad alta temperatura; costruire relazioni processo-struttura-proprietà; dimostrare la fattibilità di un reattore integrato a singolo passaggio; definire criteri preliminari di scalabilità e di efficienza energetica. Il risultato atteso è un proof-of-concept sperimentale per la produzione riproducibile di nanomateriali carboniosi con proprietà superficiali modulabili.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il/la dottorando/a opererà principalmente nei laboratori di combustione e materiali del DICMaPI, dotati di reattori a fiamma su scala di laboratorio, sistemi di alimentazione con controller di portata massica, dispositivi di campionamento delle particelle e diagnostiche ottiche. Saranno disponibili, direttamente o tramite le strutture di Ateneo, spettroscopia Raman, FTIR e UV-Vis, analisi termogravimetrica, microscopia elettronica e strumenti per la caratterizzazione delle dispersioni.

Il progetto sarà svolto in collaborazione con CNR-STEMS per la caratterizzazione chimico-fisica e superficiale delle particelle e con l'Università della Campania Luigi Vanvitelli per la caratterizzazione reologica e funzionale delle dispersioni. La collaborazione con il gruppo Nanomaterials Synthesis dell'Institute for Energy and Materials Processes - Reactive Fluids dell'Università di Duisburg-Essen contribuirà allo sviluppo del processo in fase gas e alla valutazione di configurazioni scalabili.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un soggiorno di ricerca di sei mesi, preferibilmente tra la fine del secondo e l'inizio del terzo anno, presso l'Institute for Energy and Materials Processes - Reactive Fluids dell'Università di Duisburg-Essen, nel gruppo Nanomaterials Synthesis coordinato dal Prof. Hartmut Wiggers. Le attività riguarderanno sintesi e trattamento in fase gas di nanoparticelle, diagnostiche in situ, confronto tra configurazioni di reattore e definizione di criteri di scale-up.

51) Proponent: Sirignano Mariano – Panzetta Valeria - ENG

Proposed research topic: Production of sustainable carbon dots for cell diagnostics and targeting

Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

Carbon dots (CDs) are fluorescent carbon nanoparticles of interest for bioimaging, sensing and molecular delivery. Compared with heavy-metal-containing quantum dots, they may offer lower environmental concern, good water dispersibility and the possibility of using renewable precursors. However, structural control, batch-to-batch reproducibility, removal of undesirable aromatic fractions and the correlation among synthesis conditions, optical properties and cellular response remain unresolved.

The project aims to develop a continuous flame process to produce CDs from selected precursors, including biomass-derived compounds, and to establish an extraction and purification procedure with reduced solvent use. In the first stage, equivalence ratio, residence time, dilution and quench rate will be investigated to determine their effects on particle size, chemical composition and fluorescence. Soluble fractions will be separated through progressively optimized protocols and compared in terms of yield, purity and process impact.

Characterization will include microscopy, DLS and zeta potential, UV-Vis spectroscopy, steady-state and time-resolved fluorescence, Raman, FTIR and analysis of residual molecular components. Statistical and machine-learning methods will link spectral fingerprints to synthesis parameters and identify the most relevant descriptors. Selected samples will undergo in-vitro testing to assess cytocompatibility, uptake, subcellular localization and signal stability, initially in 2-D cell models and subsequently, where supported by the results, in 3-D models.

The objectives are to obtain reproducible synthesis and purification protocols; clarify structure-optical-property relationships; identify the features governing CD-cell interactions; and demonstrate a bioimaging or cell-targeting application without assuming a predetermined intracellular localization. The project will deliver an integrated dataset and selection criteria for subsequent preclinical and technological development.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

Synthesis activities will be performed in the DICMaPI combustion laboratories and at CNR-STEMS using lab-scale burners, flow-control systems, collection devices and spectroscopic instrumentation for particle characterization. Access will be available, directly or through shared facilities, to electron and atomic-force microscopy, DLS, zeta potential, fluorescence spectroscopy, Raman, FTIR and UV-Vis. Biological activities will be conducted with bioengineering and cell-biology laboratories at the University of Naples Federico II, equipped for 2-D and 3-D cell culture, confocal microscopy, viability assays and uptake studies. CNR-STEMS will contribute to synthesis, extraction, purification and advanced characterization; the participating groups will integrate expertise in combustion, nanomaterials, image analysis and cell-material interactions.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A six-month research stay is planned, preferably during the second or third year, with the Mechano-Genomics group of Prof. G. V. Shivashankar, jointly based at the Department of Health Sciences and Technology, ETH Zurich, and the Paul Scherrer Institute. The PhD student will use advanced microscopy and quantitative single-cell analysis to investigate uptake, intracellular trafficking and

phenotypic response to selected CDs, integrating these results with the spectroscopic data obtained in Naples.

ITA

Proponente: Sirignano Mariano – Panzetta Valeria

Tematica di ricerca proposta:

Produzione di carbon dots sostenibili per la diagnostica e il targeting cellulare

Curriculum di riferimento:

X Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

X Ingegneria chimica

Tecnologie e sistemi di produzione

X Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

I carbon dots (CD) sono nanoparticelle carboniose fluorescenti di interesse per bioimaging, sensoristica e veicolazione di molecole. Rispetto ai quantum dots contenenti metalli pesanti possono offrire minore criticità ambientale, buona dispersibilità in acqua e possibilità di impiegare precursori rinnovabili. Restano tuttavia irrisolti il controllo della struttura, la riproducibilità tra lotti, la rimozione delle frazioni aromatiche indesiderate e la correlazione tra condizioni di sintesi, proprietà ottiche e risposta cellulare.

Il progetto mira a sviluppare un processo continuo a fiamma per produrre CD da precursori selezionati, inclusi composti derivati da biomassa, e a definire una procedura di estrazione e purificazione a ridotto impiego di solventi. Nella prima fase saranno studiati rapporto di equivalenza, tempo di residenza, diluizione e velocità di quench, valutandone l'effetto su dimensione delle particelle, composizione chimica e fluorescenza. Le frazioni solubili saranno separate mediante protocolli progressivamente ottimizzati e confrontate sulla base di resa, purezza e impatto del processo.

La caratterizzazione comprenderà microscopia, DLS e potenziale zeta, spettroscopia UV-Vis, fluorescenza stazionaria e risolta nel tempo, Raman, FTIR e analisi delle componenti molecolari residue. Metodi statistici e di machine learning saranno utilizzati per collegare le impronte spettrali ai parametri di sintesi e individuare i descrittori più significativi. I campioni selezionati saranno sottoposti a prove in vitro per valutarne citocompatibilità, internalizzazione, localizzazione subcellulare e stabilità del segnale, inizialmente in modelli cellulari 2D e successivamente, ove giustificato dai risultati, in modelli 3D.

Gli obiettivi sono ottenere protocolli riproducibili di sintesi e purificazione; chiarire le relazioni struttura-proprietà ottiche; identificare le caratteristiche che governano l'interazione CD-cellula; dimostrare un'applicazione di bioimaging o targeting cellulare senza assumere a priori una specifica localizzazione. Il progetto produrrà un dataset integrato e criteri di selezione utili per successive fasi di sviluppo preclinico e tecnologico.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Le attività di sintesi saranno svolte nei laboratori di combustione del DICMaPI e presso CNR-STEMS, utilizzando bruciatori da laboratorio, sistemi di controllo delle portate, dispositivi di raccolta e strumentazione spettroscopica per la caratterizzazione delle particelle. Sarà disponibile, direttamente o tramite infrastrutture condivise, l'accesso a microscopia elettronica e a forza atomica, DLS, potenziale zeta, spettroscopia di fluorescenza, Raman, FTIR e UV-Vis.

Le attività biologiche saranno condotte con i laboratori di bioingegneria e biologia cellulare dell'Università Federico II, dotati di strutture per colture 2D e 3D, microscopia confocale e saggi di vitalità e internalizzazione. CNR-STEMS contribuirà alla sintesi, estrazione, purificazione e

caratterizzazione avanzata; i gruppi coinvolti integreranno competenze di combustione, nanomateriali, analisi d'immagine e interazione cellula-materiale.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un soggiorno di sei mesi, preferibilmente nel secondo o nel terzo anno, presso il gruppo di Mechano-Genomics del Prof. G. V. Shivashankar, congiunto tra il Department of Health Sciences and Technology dell'ETH Zurich e il Paul Scherrer Institute. Il/la dottorando/a utilizzerà microscopia avanzata e analisi quantitativa a singola cellula per studiare internalizzazione, traffico intracellulare e risposta fenotipica ai CD selezionati, integrando i risultati con i dati spettroscopici ottenuti a Napoli.

52) Proponent: Sirignano Mariano – Salzano de Luna Martina

Proposed research topic: Valorization of carbonaceous particles from combustion processes in materials for gaseous and particulate pollutant removal

Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering X Chemical engineering Technologies and Production Systems X Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

Indoor air quality is affected by the simultaneous presence of volatile organic compounds, nitrogen oxides and fine particulate matter. Conventional adsorbents are often optimized for a single class of contaminants, whereas mechanical filters do not remove gaseous species. Carbonaceous particles generated in combustion processes or intentionally produced by flame synthesis have tunable aggregate structure, porosity and surface chemistry, but their use requires conversion into materials that are easy to handle, stable and characterized by a low pressure drop.

The project will develop hierarchically porous composite filters in which selected carbonaceous particles are dispersed in biopolymer matrices and structured by direct ink writing and freeze-drying. In the first stage, soot produced under controlled conditions will be compared with commercial carbon-black references and characterized in terms of surface area, porosity, morphology and surface functionalities. In the second stage, aqueous dispersions will be formulated and their colloidal stability and rheology studied to define printable inks. Lattice geometry, binder type and carbon loading will then be varied to control mechanical strength, pore accessibility and mass transfer.

The materials will be evaluated through static and dynamic tests with representative gaseous contaminants, such as toluene and NO₂, and through aerosol-particle capture tests. Adsorption capacity and kinetics, breakthrough curves, filtration efficiency, pressure drop, humidity effects and stability over regeneration cycles will be measured. Microstructural analyses and simplified transport models will relate formulation and architecture to performance.

The objectives are to establish structure-process-performance relationships; demonstrate a water-based manufacturing route with limited additive use; identify regeneration conditions compatible with the biopolymer support; and produce a proof-of-concept cartridge. The project will also determine under which conditions the valorization of carbonaceous particles from combustion processes is technically and environmentally justified compared with commercial adsorbents.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The project will use the combustion and materials laboratories of DICMaPI and partner infrastructures for flame synthesis, flow control, aerosol sampling, dispersion preparation and fabrication of porous structures. Characterization will include BET, electron microscopy, thermogravimetric analysis, spectroscopy, DLS, zeta potential, rheometry and mechanical testing. Flow systems will be set up for breakthrough, filtration-efficiency and pressure-drop measurements. CNR-STEMS will support thermal characterization and gaseous-contaminant analysis; CNR-IPCB will contribute to the study of biopolymer/carbon dispersions and rheological properties. Empa's Laboratory for Cellulose & Wood Materials, headed by Prof. Gustav Nyström, will provide expertise in bio-based inks, 3-D printing and structured cellulose materials. Commercial carbon blacks will be used as technical benchmarks to assess the actual advantage of the proposed valorization route.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A six-month research stay is planned, preferably during the second year, at Empa's Laboratory for Cellulose & Wood Materials in Dübendorf, Switzerland, headed by Prof. Gustav Nyström. Activities will include formulation of biopolymer inks containing carbonaceous particles, 3-D printing and freeze-drying, multiscale characterization and mechanical testing. Materials produced during the stay will be compared with those prepared in Naples and selected for subsequent adsorption and filtration tests.

ITA

Proponente: Sirignano Mariano – Salzano de Luna Martina

Tematica di ricerca proposta:

Valorizzazione di particelle carboniose da processi di combustione in materiali per la rimozione di inquinanti gassosi e particolati

Curriculum di riferimento:

X Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

X Ingegneria chimica

Tecnologie e sistemi di produzione

X Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

La qualità dell'aria indoor è influenzata dalla presenza simultanea di composti organici volatili, ossidi di azoto e particolato fine. I materiali adsorbenti tradizionali sono spesso ottimizzati per una sola classe di contaminanti, mentre i filtri meccanici non rimuovono le specie gassose. Le particelle carboniose generate nei processi di combustione o prodotte intenzionalmente mediante sintesi a fiamma possiedono struttura aggregata, porosità e chimica superficiale modulabili, ma il loro impiego richiede la trasformazione in materiali maneggevoli, stabili e caratterizzati da bassa perdita di carico.

Il progetto svilupperà filtri compositi a porosità gerarchica nei quali particelle carboniose selezionate saranno disperse in matrici biopolimeriche e strutturate mediante direct ink writing e liofilizzazione. Nella prima fase saranno confrontati soot prodotti in condizioni controllate e carbon black commerciali di riferimento, caratterizzandone area superficiale, porosità, morfologia e funzionalità superficiali. Nella seconda fase saranno formulate dispersioni acquose e studiati stabilità colloidale e comportamento reologico per definire inchiostri stampabili. Geometria del reticolo, tipo di legante e contenuto di carbonio saranno quindi variati per controllare resistenza meccanica, accessibilità dei pori e trasporto di massa.

I materiali saranno valutati mediante prove statiche e dinamiche con contaminanti gassosi rappresentativi, quali toluene e NO₂, e mediante test di cattura di particelle aerosol. Saranno misurate capacità e cinetica di adsorbimento, curve di breakthrough, efficienza di filtrazione, perdita di carico, influenza dell'umidità e stabilità durante cicli di rigenerazione. Analisi microstrutturali e modelli semplificati di trasporto consentiranno di correlare formulazione e architettura alle prestazioni.

Gli obiettivi sono: definire relazioni struttura-processo-prestazione; dimostrare una via di fabbricazione acquosa e a basso impiego di additivi; individuare condizioni di rigenerazione compatibili con il supporto biopolimerico; realizzare una cartuccia proof-of-concept. Il progetto chiarirà inoltre in quali condizioni la valorizzazione di particelle carboniose da processi di combustione risulti tecnicamente ed ambientalmente giustificata rispetto all'impiego di adsorbenti commerciali.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende)

potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Il progetto utilizzerà i laboratori di combustione e materiali del DICMaPI e le infrastrutture dei partner per sintesi a fiamma, controllo delle portate, campionamento aerosol, preparazione di dispersioni e fabbricazione di strutture porose. La caratterizzazione comprenderà BET, microscopia elettronica, analisi termogravimetrica, spettroscopia, DLS, potenziale zeta, reometria e prove meccaniche. Saranno predisposti sistemi a flusso per misure di breakthrough, efficienza di filtrazione e perdita di carico.

CNR-STEMS supporterà la caratterizzazione termica e l'analisi dei contaminanti gassosi; CNR-IPCB contribuirà allo studio delle dispersioni biopolimero/carbonio e delle proprietà reologiche. Il Laboratory for Cellulose & Wood Materials dell'Empa, diretto dal Prof. Gustav Nyström, fornirà competenze su inchiostri biobased, stampa 3D e materiali cellulosici strutturati. Carbon black commerciali saranno impiegati come riferimenti tecnici per valutare la reale convenienza della valorizzazione proposta.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

È previsto un soggiorno di sei mesi, preferibilmente nel secondo anno, presso il Laboratory for Cellulose & Wood Materials dell'Empa a Dübendorf, Svizzera, diretto dal Prof. Gustav Nyström. Le attività comprenderanno formulazione di inchiostri biopolimerici contenenti particelle carboniose, stampa 3D e liofilizzazione, caratterizzazione multiscala e prove meccaniche. I materiali prodotti saranno confrontati con quelli realizzati a Napoli e selezionati per le successive prove di adsorbimento e filtrazione.

53) Proponent: Giovanna Tomaiuolo - ENG**Proposed research topic: Fluid dynamics and material-blood interactions in 3D-bioprinted vascular constructs****Reference curriculum: Chemical engineering****Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words**

Creating large-scale, three-dimensional cellular constructs remains a challenging bioengineering task for biomedical applications. A key limitation is the absence of a functional vascular network capable of supplying cells with oxygen and nutrients while removing metabolic waste products. Recent advances in 3D bioprinting have provided a versatile platform for the fabrication of complex vascular architectures with controlled geometry and spatial organization. By enabling the precise deposition of cells and biomaterials, 3D bioprinting offers unprecedented opportunities to recreate the hierarchical structure of native blood vessels. However, achieving geometric accuracy alone is not sufficient to produce functional vascular systems. Equally important is the understanding of the physical, rheological, and biochemical interactions that occur at the interface between circulating blood and the artificial materials used to fabricate the vascular channels. These interactions play a critical role in determining blood compatibility, flow stability, and the long-term functionality of engineered vascular constructs.

The objective of this project is to investigate the complex interactions between blood and artificial materials within 3D-bioprinted vascular channels. The proposed research activity will focus on the detailed characterization of blood flow inside 3D-bioprinted vascular networks, including velocity profiles, shear stress distribution, and recirculation regions that may influence blood cell behavior. The transport, distribution, and migration of blood cells within the printed channels, as well as their interactions with the channel walls, will be also investigated. In addition to hemodynamic aspects, the project will address the adsorption of plasma proteins onto the surface of the bioprinted materials. Protein adsorption represents one of the earliest events following blood-material contact and strongly influences subsequent biological responses, including platelet adhesion, activation of the coagulation cascade, and inflammatory processes. Understanding how different bio-ink formulations affect protein adsorption will provide valuable insights into the hemocompatibility of engineered vascular channels and guide the development of materials with improved biological performance.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The PhD candidate will have access to a well-equipped experimental infrastructure including advanced optical and confocal microscopy systems for detailed microstructural analyses of biological fluids, 3D bioprinters, a rotational rheometer for the rheological characterization of biological fluids, an optical tensiometer for contact angle, surface and interfacial tension measurements, and surface wettability characterization, and a microfluidic system with high-precision syringe pumps to reproduce physiologically relevant flow conditions within microvascular environments. Temperature-controlled incubators are also available for the handling and maintenance of biological samples under controlled experimental conditions. The PhD project will further benefit from well-established collaborations with research institutions and industrial partners, providing access to complementary expertise, advanced technologies, and opportunities for interdisciplinary research and knowledge transfer.

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

During the third year of the PhD programme, the candidate will undertake a three-month research stay at the University of Edinburgh under the supervision of Professor Timm Krüger. This research period will focus on the flow behavior of blood in vascular constructs, providing the opportunity to collaborate closely with internationally recognized experts in the field while gaining access to

specialized research facilities. The visit will foster scientific exchange, strengthen interdisciplinary collaboration, and contribute significantly to the development and validation of the project's research outcomes.

ITA

Proponente: Giovanna Tomaiuolo

Tematica di ricerca proposta:

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

La realizzazione di costrutti cellulari tridimensionali rappresenta ancora una delle principali sfide ingegneristiche per applicazioni biomediche. Una delle limitazioni fondamentali è l'assenza di una rete vascolare funzionale in grado di garantire l'apporto di ossigeno e nutrienti alle cellule, nonché la rimozione dei prodotti di scarto del metabolismo. I recenti progressi nel campo della biostampa 3D hanno messo a disposizione una piattaforma versatile per la fabbricazione di architetture vascolari complesse, caratterizzate da geometrie controllate e da un'elevata precisione spaziale. Grazie alla deposizione controllata di cellule e biomateriali, la biostampa 3D ha la potenzialità di ricreare l'organizzazione vascolare osservata in vivo. Tuttavia, il raggiungimento della sola accuratezza geometrica non è sufficiente per ottenere sistemi vascolari realmente funzionali. È altrettanto fondamentale comprendere le interazioni fisiche, reologiche e biochimiche che si instaurano all'interfaccia tra il sangue e i materiali artificiali impiegati per la realizzazione dei canali vascolari. Tali interazioni svolgono un ruolo determinante nel definire l'emocompatibilità dei materiali, la stabilità del flusso e la funzionalità a lungo termine dei costrutti vascolari.

L'obiettivo del presente progetto è studiare le complesse interazioni tra il sangue e i materiali artificiali all'interno di canali vascolari realizzati mediante biostampa 3D. L'attività di ricerca proposta sarà focalizzata sulla caratterizzazione dettagliata del flusso ematico all'interno di reti vascolari biostampate, analizzando i profili di velocità, la distribuzione degli sforzi e le eventuali regioni di ricircolo che possono influenzare il comportamento delle cellule del sangue. Saranno inoltre investigate le dinamiche di trasporto, distribuzione e migrazione delle cellule ematiche all'interno dei canali stampati, nonché le loro interazioni con le pareti vascolari. Oltre agli aspetti emodinamici, il progetto affronterà lo studio dell'adsorbimento delle proteine plasmatiche sulla superficie dei materiali biostampati. L'adsorbimento proteico rappresenta uno dei primi eventi che si verificano in seguito al contatto tra sangue e materiale e influenza in modo determinante le successive risposte biologiche, tra cui l'adesione piastrinica, l'attivazione della cascata della coagulazione e i processi infiammatori. Comprendere come le differenti formulazioni di bio-inchiostri influenzino l'adsorbimento delle proteine consentirà di acquisire informazioni fondamentali sull'emocompatibilità dei canali vascolari ingegnerizzati e di orientare lo sviluppo di nuovi biomateriali caratterizzati da prestazioni biologiche superiori.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Per condurre l'attività di ricerca il dottorando avrà accesso a un'infrastruttura sperimentale comprendente sistemi avanzati di microscopia ottica e confocale per l'analisi della microstruttura di fluidi biologici, biostampanti 3D, un reometro rotazionale per la caratterizzazione reologica dei fluidi biologici, un tensiometro ottico per la caratterizzazione della bagnabilità delle superfici e la misura dell'angolo di contatto, della tensione superficiale e interfacciale dei fluidi, e una piattaforma microfluidica dotata di pompe a siringa per riprodurre condizioni di flusso fisiologicamente rilevanti in ambienti microvascolari. Saranno inoltre disponibili incubatori a temperatura controllata

per la manipolazione e il mantenimento di campioni biologici in condizioni sperimentali controllate. Il progetto di dottorato beneficerà inoltre di consolidate collaborazioni con enti di ricerca e partner industriali, che garantiranno l'accesso a competenze complementari, tecnologie avanzate e opportunità di ricerca interdisciplinare e di trasferimento delle conoscenze.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Durante il terzo anno del percorso di dottorato è previsto un soggiorno di ricerca della durata di circa tre mesi presso l'Università di Edimburgo, sotto la supervisione del Professor Timm Krüger. L'attività di ricerca sarà focalizzata sullo studio del comportamento in flusso del sangue all'interno di costrutti vascolari ingegnerizzati, offrendo al dottorando l'opportunità di collaborare direttamente con esperti di riconosciuto prestigio internazionale. Il soggiorno favorirà lo scambio scientifico, rafforzerà le collaborazioni interdisciplinari e contribuirà in maniera significativa allo sviluppo e alla validazione dei risultati del progetto di ricerca.

54) Proposer: Prof. Enza Torino - ENG

Proposed Research Topic: Mechanistic Investigation and Development of Sustained Pulmonary Delivery Platforms for Biologics

Relevant Curriculum: Industrial Bioengineering, Materials and Structural Engineering, Chemical Engineering, Production Technologies and Systems

Research Project

This PhD research will investigate the development of long-acting pulmonary delivery systems for biologic therapeutics, including proteins, peptides, antibodies, and nucleic acid-based medicines, to enable sustained drug release directly within the lungs. The project will focus on designing and optimizing advanced controlled-release formulations that enhance biologic stability, prolong lung residence time, overcome physiological barriers such as mucus clearance and enzymatic degradation, and improve therapeutic efficacy while reducing dosing frequency. By integrating biomaterials, nanotechnology, and pulmonary drug delivery strategies, the research aims to advance innovative inhalable therapies for chronic respiratory diseases, including asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), pulmonary fibrosis, and cystic fibrosis, with the potential to improve patient adherence and long-term clinical outcomes. The project will also be carried out in collaboration with industry partners.

Brief information regarding any planned research period abroad for the PhD candidate

A research period abroad is planned at research institutions and industrial sites.

ITA

Proponente: Prof.ssa Enza Torino

Tematica di ricerca proposta: Mechanistic Investigation and Development of Sustained Pulmonary Delivery Platforms for Biologics

Curriculum di riferimento: Bioingegneria Industriale, Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica, Tecnologie e sistemi di produzione.

Sintesi del Progetto di Ricerca

This PhD research will investigate the development of long-acting pulmonary delivery systems for biologic therapeutics, including proteins, peptides, antibodies, and nucleic acid-based medicines, to enable sustained drug release directly within the lungs. The project will focus on designing and optimizing advanced controlled-release formulations that enhance biologic stability, prolong lung residence time, overcome physiological barriers such as mucus clearance and enzymatic degradation, and improve therapeutic efficacy while reducing dosing frequency. By integrating biomaterials, nanotechnology, and pulmonary drug delivery strategies, the research aims to advance innovative inhalable therapies for chronic respiratory diseases, including asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), pulmonary fibrosis, and cystic fibrosis, with the potential to improve patient adherence and long-term clinical outcomes. The project will be also performed in collaboration with industry partners.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando

Previsto un periodo di ricerca all'estero presso enti di ricerca e siti industriali

55) Proponente: Virginia Venezia, Giuseppina Luciani, Brigida Silvestri - ITA

Tematica di ricerca proposta: Materiali e tecnologie sostenibili per il recupero selettivo degli elementi delle terre rare dai RAEE

Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria Chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

La richiesta per gli elementi delle terre rare (Rare Earth Elements, REE) è in rapida crescita negli ultimi anni in quanto il loro utilizzo è cruciale per lo sviluppo di tecnologie avanzate, dall'elettronica all'energia rinnovabile. Tuttavia, la loro estrazione da fonti primarie risulta poco sostenibile e fortemente limitata per il forte impatto ambientale e per motivi geopolitici che ne limitano l'approvvigionamento. Per tale motivo, essi sono considerati materiali critici e rappresentano una priorità per l'Unione Europea che ha promosso linee guide e finanziamenti dedicati volti a limitarne la dipendenza da paesi terzi. **Il loro riciclo da fonti secondarie, come i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), ridurrebbe dell'80% l'impatto ambientale e del 60% il consumo di energia causato dal tradizionale recupero da risorse minerarie.** Tuttavia, tale strategia è ancora poco esplorata a causa della scarsa resa di estrazione, all'impiego di reagenti tossici e costosi, alla bassa selettività e agli alti costi dei materiali attualmente utilizzati per l'adsorbimento di tali elementi.

Ad oggi lo sviluppo di **biosorbenti** sembra una strategia promettente grazie alle intrinseche proprietà di sequestro di tali elementi dovute alla ricchezza dei gruppi funzionali nei bioscarti in grado di interagire con ioni metallici. Tuttavia, tale approccio risulta poco esplorato a causa della **eterogeneità e della scarsa riproducibilità di prestazioni di tali materiali**, che pertanto risultano ancora relegati al ruolo di scarti e costituiscono un problema ambientale piuttosto che una risorsa.

Studi preliminari del gruppo proponente hanno evidenziato che la combinazione dei bioscarti con

sistemi organici, inorganici e ibridi permette di ottenere materiali con proprietà riproducibili e migliorate rispetto alle componenti di partenza.

Il presente progetto propone lo **sviluppo di tecnologie sostenibili e scalabili per il recupero selettivo dei REE dai RAEE.** In particolare, l'attività di ricerca sarà focalizzata sui seguenti aspetti:

- 1) Sviluppo di **processi di leaching selettivi ed ecompatibili;**
- 2) Sviluppo di **materiali nanostrutturati 2D e 3D da bioscarti per l'adsorbimento selettivo degli elementi delle terre rare** dalla soluzione lisciviata.

In riferimento al punto 1) saranno esplorate **strategie innovative ed ecocompatibili per la lisciviazione mediante la sinergia di acidi organici o deep eutectic solvents (DES)** con fonti di energia non convenzionali e a maggiore efficienza (microonde o ultrasuoni).

In riferimento al punto 2) saranno progettati e realizzati materiali sorbenti **2D e 3D da bioscarti (come lignina, cellulosa, alginato) per l'adsorbimento selettivo di REE da soluzioni di lisciviazione** sviluppate nel primo stadio. In particolare, **filtri adsorbenti e rigenerabili ad elevata area superficiale**, in forma di aerogel o tessuti nanostrutturati, saranno utilizzati per l'estrazione di ioni metallici dalle soluzioni di lisciviazione.

Tale approccio si inserisce in una visione più olistica della gestione dei rifiuti, che non si limita al solo recupero dei REE dai RAEE, **ma promuove in ottica di simbiosi industriale il valore degli scarti in senso più ampio**, favorendone il reimpiego in altri cicli produttivi.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

L'attività di dottorato si svolgerà presso i laboratori di Chimica dei Materiali del DICMaPI, dove il/la dottorando/a potrà acquisire competenze teoriche e pratiche sulla progettazione bioispirata di

materiali ibridi, sulle metodologie di sintesi in soluzione, sulle principali metodologie di caratterizzazione chimico-fisica dei materiali e sui metodi di lisciviazione green.

I materiali ottenuti saranno caratterizzati mediante le seguenti tecniche:

-**Microscopia elettronica SEM e TEM** per effettuare l'indagine morfologica dei campioni;
-**Fisiosorbimento di azoto (N₂)** per valutare l'area superficiale specifica e la distribuzione dimensionali dei pori;

-**Diffrazione a raggi X (XRD)** per analizzare le proprietà strutturali le fasi cristalline dei materiali ottenuti.

-**Scattering dinamico della luce (DLS) e Potenziale Zeta** per determinare la stabilità colloidale in soluzione e la dimensione delle nanostrutture sintetizzate.

-**Analisi termogravimetrica e calorimetria differenziale a scansione (TGA/DSC)** per studiare il comportamento termico dei campioni.

-**Spettroscopia infrarossa (FT-IR)** per ottenere informazioni sulla composizione chimica dei sistemi analizzati, mediante l'identificazione dei gruppi funzionali in essi presenti.

-**Spettroscopia UV-Vis** per valutare la tipologia e la quantità dei gruppi funzionali presenti nei campioni ottenuti mediante opportuni saggi colorimetrici.

Il/la dottoranda, inoltre, avrà accesso ai laboratori del Dipartimento di Scienze Chimiche (DSC) con cui il gruppo di Chimica dei Materiali collabora attivamente per lo sviluppo della tematica proposta.

Sono inoltre attive le seguenti collaborazioni:

- Department of Materials and Environmental Chemistry, Stockholm University, SE-10691 Stockholm, Sweden, Prof. Mika H. Sipponen

- Université de Bordeaux Institut des Sciences Moléculaires (ISM, UMR-CNRS 5255) – Prof. Stéphane QUIDEAU

- IATA, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Dott. Jose Maria (CHEMA) Lagaron e Dott.ssa Cristina Prieto

- CNR, Istituto per l'inquinamento atmosferico, Dott.ssa Antonella Macagnano

- Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Prof.ssa Theodora Krasia-Cristoforou

- Università degli Studi di Napoli, Dipartimento di Agraria, Prof. Riccardo Spaccini

- Università degli Studi di Napoli, Dipartimento di Scienze Chimiche, Prof.ssa Lucia Panzella e Dott.ssa Maria Laura Alfieri

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

La presente proposta progettuale prevede un periodo di permanenza di 9 mesi all'estero, presso le seguenti sedi:

-ICGM, Univ. Montpellier, CNRS, ENSCM, 1919 route de Mende, 34293, Montpellier, France, Prof. Sara Cavaliere

-Engineering Physics, Polytechnique Montreal, 2500 Ch. Polytechnique, Montréal, QC, H3T 1J4 Canada, Prof. Clara Santato

ENG

Proponent:

Virginia Venezia, Giuseppina Luciani, Brigida Silvestri

Proposed research topic:

Sustainable materials and technologies for the selective extraction of rare earth elements from e-waste

Reference curriculum:

Materials and Structural Engineering

Chemical Engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

The demand for rare earth elements (REEs) has been rapidly increasing in recent years, as their use is crucial for the development of advanced technologies, ranging from electronics to renewable energy. However, their extraction from primary sources is unsustainable and highly constrained due to significant environmental impacts and geopolitical factors that limit their availability. For this reason, REEs are considered *critical raw materials* and represent a strategic priority for the European Union, which has promoted dedicated guidelines and funding programs to reduce dependency on third countries.

Recycling REEs from secondary sources, such as waste electrical and electronic equipment (WEEE), **could reduce environmental impact by up to 80% and energy consumption by 60%** compared to traditional extraction from ores. Nevertheless, this strategy remains underexplored due to the low extraction yields, the use of toxic and expensive reagents, poor selectivity, and the high cost of current sorbent materials for REE recovery.

To date, the development of **biosorbents** appears to be a promising strategy, thanks to their intrinsic ability to capture metal ions due to the abundance of functional groups in biowaste. However, this approach is still poorly developed due to the **heterogeneity and low reproducibility** of the materials' performance, which means these residues are still largely considered waste and an environmental burden rather than a resource.

Preliminary studies by the proposing research group have shown that combining biowaste with organic, inorganic, and hybrid systems can lead to materials with improved and reproducible properties compared to the starting components.

This project proposes the development of **sustainable and scalable technologies for the selective recovery of REEs from WEEE**, with research activities focused on the following aspects:

1. Development of **selective and environmentally compatible leaching processes**;
2. Development of **2D and 3D nanostructured materials from biowaste** for the selective adsorption of rare earth elements from the leachate solution.

For point 1), **innovative and eco-friendly leaching strategies** will be explored, based on the synergy of organic acids or deep eutectic solvents (DES) with **non-conventional, energy-efficient activation methods** such as microwave or ultrasound irradiation.

For point 2), **2D and 3D sorbent materials will be designed and synthesized from biowaste** (e.g., lignin, cellulose, alginate) for the selective adsorption of REEs from the leachates developed in the first stage. **High-surface-area, regenerable adsorbent filters** in the form of aerogels or nanostructured fabrics will be used for the extraction of metal ions from solution.

This approach is part of a **more holistic waste management vision**, not limited to the recovery of REEs from WEEE, but aimed at **enhancing the value of waste through industrial symbiosis**, promoting its reuse in other production cycles.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD activity will be carried out at the Materials Chemistry laboratories of DICMaPI, where the PhD candidate will have the opportunity to acquire both theoretical and practical skills in the bioinspired design of hybrid materials, solution-based synthesis methods, main physico-chemical characterization techniques of materials, and green leaching methods.

The materials obtained will be characterized using the following techniques:

- **Scanning and Transmission Electron Microscopy (SEM and TEM)** for morphological analysis of the samples;
- **Nitrogen physisorption (N₂)** to evaluate the specific surface area and pore size distribution;
- **X-ray Diffraction (XRD)** to analyze the structural properties and crystalline phases of the synthesized materials;
- **Dynamic Light Scattering (DLS)** and **Zeta Potential** measurements to determine colloidal stability in solution and nanostructure dimensions;

- **Thermogravimetric Analysis and Differential Scanning Calorimetry (TGA/DSC)** to study the thermal behavior of the samples;
- **Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)** to obtain chemical composition information through identification of functional groups present in the samples;
- **UV-Vis Spectroscopy** to assess the type and quantity of functional groups in the obtained samples via appropriate colorimetric assays.

The PhD student will also have access to the laboratories of the **Department of Chemical Sciences (DSC)**, with which the Materials Chemistry group collaborates actively on the proposed research topic.

The following research collaborations are also currently active:

- **Department of Materials and Environmental Chemistry, Stockholm University**, SE-10691 Stockholm, Sweden – Prof. Mika H. Sipponen
- **Université de Bordeaux, Institut des Sciences Moléculaires (ISM, UMR-CNRS 5255)** – Prof. Stéphane Quideau
- **IATA, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos** – Dr. Jose Maria (Chema) Lagaron and Dr. Cristina Prieto
- **CNR, Institute of Atmospheric Pollution Research** – Dr. Antonella Macagnano
- **Department of Mechanical and Manufacturing Engineering** – Prof. Theodora Krasia-Cristoforou
- **University of Naples Federico II, Department of Agricultural Sciences** – Prof. Riccardo Spaccini
- **University of Naples Federico II, Department of Chemical Sciences** – Prof. Lucia Panzella and Dr. Maria Laura Alfieri

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

This project proposal includes a 9-month research stay abroad at the following institutions:

- **ICGM, University of Montpellier, CNRS, ENSCM**, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier, France – Prof. Sara Cavaliere
- **Engineering Physics Department, Polytechnique Montréal**, 2500 Ch. de Polytechnique, Montréal, QC, H3T 1J4, Canada – Prof. Clara Santato

56) Proponent: MAURIZIO VENTRE

Proposed research topic: BIOMATERIALS FOR MECHANOBIOLOGY

Reference curriculum: Materials and Structural Engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives) max 500 words

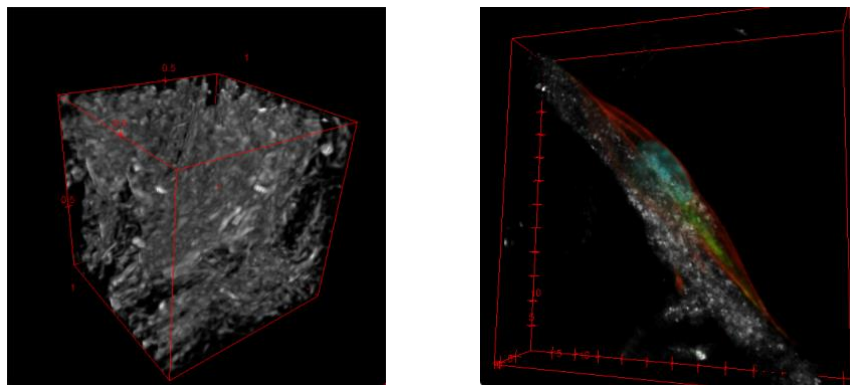
Mechanobiology investigates how cells sense and respond to mechanical and physical cues from their microenvironment. These processes are essential for development, repair and homeostasis, but also drive fibrosis, cancer progression, chronic inflammation. Most mechanobiological studies still rely on two-dimensional synthetic substrates, whereas cells in vivo inhabit three-dimensional extracellular matrices that are fibrous, porous, heterogeneous and dynamically remodelled. Hydrogels are tuneable, transparent and reproducible, but they only partly reproduce the architecture and mechanics of connective tissues. This project aims to engineer collagen-based 3D culture systems that mimic these features and support controlled studies of cell behaviour in mechanically defined microenvironments.

Two complementary fabrication strategies will be developed. A top-down approach will use decellularized animal tissues, particularly dermis, as native collagen-rich scaffolds. These matrices will be cut, carved, shaved or sectioned to obtain controlled sheets, strips, fibre-like elements and porous scaffolds. In parallel, a bottom-up approach will assemble collagen powders, microparticles or matrix-derived fragments into 3D constructs. Moulding, compaction, freeze-drying, extrusion, bioprinting and sacrificial templating will be explored to generate scaffolds, fibres and porous networks with controlled geometry.

During the first year, fabrication and characterization will be established. Top-down matrices will be optimized for reproducibility, structural preservation and handling. Bottom-up assembly will be developed by testing collagen-derived materials, particle size, hydration conditions, binders, crosslinkers, porogens and sacrificial templates. These strategies will be used to control pore size, interconnectivity, fibre-like architecture and scaffold stability. The resulting systems will be characterized in terms of microarchitecture, composition, transport and mechanics. Collagen organization, fibre orientation, porosity and anisotropy will be assessed using histology, picrosirius red polarized-light imaging, confocal microscopy, second harmonic generation microscopy and scanning electron microscopy. Transport will be measured using fluorescent diffusion assays, while local and global mechanics will be evaluated by indentation, compression, tensile testing or rheology.

During the second year, matrix biophysical properties will be actively tuned. Fibre orientation will be modified by stretching, mechanical preconditioning or directional compaction. Stiffness will be increased using biocompatible crosslinkers such as genipin, carbodiimide chemistry or riboflavin-mediated photochemical crosslinking. Conversely, controlled enzymatic treatments will soften or partially degrade the matrices. Dynamic systems will also be explored using switchable compounds, including light-responsive azobenzene derivatives or riboflavin-based approaches, to induce time-dependent changes in stiffness or structure.

During the third year, selected matrices will be used as 3D culture platforms for fibroblasts, stem cells or immune cells. Cell responses to stiffness, porosity and fibre alignment will be assessed through viability, morphology, migration, matrix remodelling, differentiation and cytokine production. Mechanotransduction will be investigated by immunofluorescence for cytoskeletal organization, nuclear morphology, focal adhesion markers and YAP/TAZ localization, together with gene-expression analyses.



Micro-CT scan of a collagen-based fibrous 3D scaffold (left). Fibroblast adhering to a collagen fibre (right)

By integrating materials engineering, quantitative imaging and cell biology, the project will deliver standardized workflows and datasets linking fabrication parameters, matrix properties and cellular outcomes across complementary collagen-based models systematically reproducibly.

Overall, the project will establish biomimetic and dynamic collagen-based 3D systems to study cell function and fate in defined mechanical microenvironments, providing physiologically relevant platforms for mechanobiology, tissue engineering, fibrosis, wound healing and regenerative medicine.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

The student will have access to state of art nano-microfabrication technologies, 3D bioprinters, optical and confocal microscopes, atomic force microscope and cell culture facility. The student will perform morphological, molecular and cellular analyses, immunofluorescence and histology in the labs of the DICMAPI and of the CRIB. Furthermore, cellular and molecular analyses will be performed in collaboration RadboudUMC (Nijmegen, NL) and with the University of Padua (IT).

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

The students may join the RadboudUMC for training in cellular and molecular analyses, especially for immune cell types.

ITA

Proponente: MAURIZIO VENTRE

Tematica di ricerca proposta: BIOMATERIALI PER STUDI DI MECCANOBIOLOGIA

Curriculum di riferimento:

Ingegneria dei Materiali e delle Strutture

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

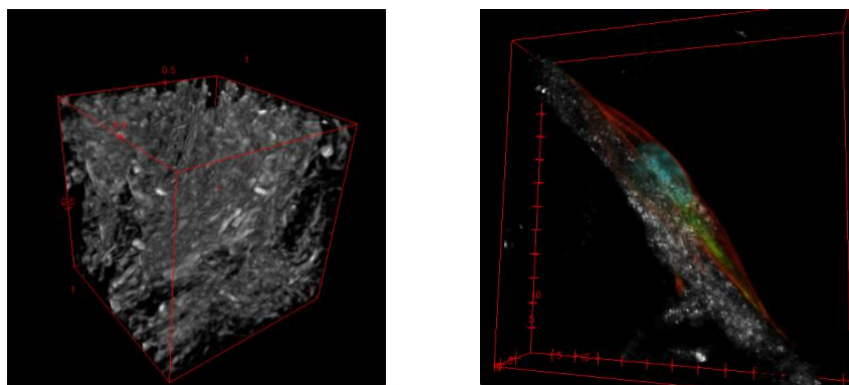
La meccanobiologia studia come le cellule percepiscono e rispondono ai segnali meccanici e fisici del microambiente. Questi processi sono essenziali per sviluppo, riparazione e omeostasi, ma contribuiscono anche a fibrosi, progressione tumorale, infiammazione cronica. Molti studi meccanobiologici usano substrati sintetici bidimensionali, mentre in vivo le cellule abitano matrici extracellulari tridimensionali, fibrose, porose, eterogenee e dinamicamente rimodellate. Gli idrogel sono modulabili, trasparenti e riproducibili, ma riproducono solo parzialmente architettura e meccanica dei tessuti connettivi. Questo progetto mira a ingegnerizzare sistemi di coltura 3D a base di collagene che imitino tali caratteristiche e permettano studi controllati del comportamento cellulare in microambienti meccanicamente definiti.

Saranno sviluppate due strategie di fabbricazione complementari. Un approccio top-down utilizzerà tessuti animali decellularizzati, in particolare derma, come scaffold nativi ricchi di collagene. Queste matrici saranno tagliate, scolpite, assottigliate o sezionate per ottenere fogli, strisce, elementi simil-fibra e scaffold porosi a geometria controllata. In parallelo, un approccio bottom-up assemblerà polveri di collagene, microparticelle o frammenti derivati da matrice in costrutti 3D. Stampaggio, compattazione, liofilizzazione, estrusione, bioprinting e templaggi sacrificali saranno esplorati per generare scaffold, fibre e reti porose con geometria controllata.

Nel primo anno saranno stabilite fabbricazione e caratterizzazione. Le matrici top-down saranno ottimizzate per riproducibilità, conservazione strutturale e maneggevolezza. L'assemblaggio bottom-up sarà sviluppato testando materiali derivati dal collagene, dimensione delle particelle, idratazione, leganti, crosslinker, porogeni e template sacrificali. Queste strategie serviranno a controllare dimensione dei pori, interconnessione, architettura fibrosa e stabilità dello scaffold. I sistemi ottenuti saranno caratterizzati per microarchitettura, composizione, trasporto e meccanica. Organizzazione del collagene, orientamento delle fibre, porosità e anisotropia saranno valutati mediante istologia, picrosirius red in luce polarizzata, microscopia confocale, microscopia a generazione di seconda armonica e microscopia elettronica a scansione. Il trasporto sarà misurato con saggi di diffusione fluorescente, mentre le proprietà meccaniche locali e globali saranno valutate tramite indentazione, compressione, trazione o reologia.

Nel secondo anno, le proprietà biofisiche della matrice saranno modulate attivamente. L'orientamento delle fibre sarà modificato mediante stretching, preconditionamento meccanico o compattazione direzionale. La rigidità sarà aumentata usando crosslinker biocompatibili come genipina, chimica carbodiimidica o reticolazione fotochimica mediata da riboflavina. Viceversa, trattamenti enzimatici controllati ammorbidiranno o degraderanno parzialmente le matrici. Saranno inoltre esplorati sistemi dinamici basati su composti commutabili, inclusi derivati dell'azobenzene responsivi alla luce o approcci con riboflavina, per indurre cambiamenti temporali di rigidità o struttura.

Nel terzo anno, matrici selezionate saranno usate come piattaforme di coltura 3D per fibroblasti, cellule staminali o cellule immunitarie. Le risposte cellulari a rigidità, porosità e allineamento delle fibre saranno valutate tramite vitalità, morfologia, migrazione, rimodellamento della matrice, differenziamento e produzione di citochine. La meccanotrasduzione sarà studiata con immunofluorescenza per organizzazione citoscheletrica, morfologia nucleare, marcatori di adesione focale e localizzazione di YAP/TAZ, insieme ad analisi di espressione genica.



Scansione micro-CT di uno scaffold 3D fibroso a base di collagene (a sinistra). Fibroblasta adeso a una fibra di collagene (a destra).

Nel complesso, il progetto stabilirà sistemi 3D biomimetici e dinamici a base di collagene per studiare funzione e destino cellulare in microambienti meccanici definiti, fornendo piattaforme fisiologicamente rilevanti per meccanobiologia, ingegneria tissutale, fibrosi, guarigione delle ferite e medicina rigenerativa.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Lo/la studente/essa avrà accesso a tecnologie di nano-microfabbricazione all'avanguardia, biostampanti 3D, microscopi ottici e confocali, microscopio a forza atomica e struttura per la coltura cellulare. Lo studente eseguirà analisi morfologiche, molecolari e cellulari, immunofluorescenza e istologia nei laboratori del DICMAPI e del CRIB. Inoltre, le analisi cellulari e molecolari saranno effettuate in collaborazione con RadboudUMC (Nijmegen, Paesi Bassi) e con l'Università di Padova (Italia).

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Lo/la studente/essa potrà spendere fino ad un semestre presso RadboudUMC per una formazione in analisi cellulari e molecolari, in particolare per i tipi di cellule immunitarie.

57) Proponent: Massimiliano M. Villone

Proposed research topic: Multiphase systems with rheologically complex interfaces

Reference curriculum: Chemical engineering

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and main objectives)

Multiphase systems with rheologically complex interfaces play a fundamental role in many scientific and technological fields, including emulsions, foams, colloidal dispersions, biological fluids, and food, pharmaceutical, and cosmetic formulations. In these systems, the macroscopic dynamics do not depend solely on the rheological properties of the bulk fluid phases, but also on the mechanical response of the interface, which may exhibit surface viscosity and elasticity, nonlinear effects, anisotropy, ageing, plasticity, and adsorption/desorption phenomena. Despite recent experimental and computational advances, a quantitative understanding of the relationship between microscopic interfacial properties, two-dimensional constitutive laws, and the collective behavior of the system under flow remains incomplete.

The PhD project aims to develop theoretical and numerical tools to describe the dynamics of multiphase systems in the presence of rheologically complex interfaces. The main objectives are: to formulate and implement constitutive models for viscoelastic or viscoplastic interfaces, or interfaces characterized by non-uniform surface tension; to analyze the role of interfacial rheology in stress distribution, deformation, and the stability of droplets, bubbles, and thin films; to investigate the mechanisms of breakup, coalescence, and interfacial relaxation; and to build predictive models capable of linking the local interfacial scale to the macroscopic response of the multiphase material.

The three-year research program will be organized into three phases. During the first year, a critical analysis of the state of the art will be carried out, and the model systems, physical assumptions, and governing equations will be defined. Suitable numerical approaches will also be selected or developed depending on the configurations considered. During the second year, the models will be implemented and validated through benchmark cases, studying the response of single droplets or bubbles in shear, extensional, or confined flows as a function of capillary number, viscosity ratio, concentration of interfacial species, and surface rheological parameters. During the third year, the focus will shift to more complex systems, such as concentrated emulsions, interactions among multiple interfaces, and flows in realistic geometries, with the aim of deriving effective laws and stability criteria applicable to industrial processes.

The project will contribute to the development of a predictive description of multiphase systems with complex interfaces, providing models and computational tools useful for the rational design of structured materials and for the optimization of processes such as emulsification, foaming, coating, microfluidics, and the formulation of complex products.

Brief details on the research facilities, tools, and laboratories available to the PhD student for carrying out the proposed activity, as well as collaborations with Italian and foreign research institutions and companies related to the topic

Availability of advanced computing resources for numerical simulations and laboratories for experimental activities in the field of microfluidics

Brief information related to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

6-12 month stay in Jan Vermant's group at ETH Zurich (Switzerland)

And/or

6-12 month stay in Patrick Anderson's group at TU/Eindhoven (The Netherlands)

ITA

Proponente: Massimiliano M. Villone

Tematica di ricerca proposta: Sistemi multifasici con interfacce reologicamente complesse

Curriculum di riferimento: Ingegneria chimica

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi)

I sistemi multifasici con interfacce reologicamente complesse rivestono un ruolo fondamentale in numerosi ambiti scientifici e tecnologici, tra cui emulsioni, schiume, dispersioni colloidali, fluidi biologici, formulazioni alimentari, farmaceutiche e cosmetiche. In tali sistemi, la dinamica macroscopica non dipende esclusivamente dalle proprietà reologiche di *bulk* delle fasi fluide, ma anche dalla risposta meccanica dell'interfaccia, che può manifestare viscosità ed elasticità superficiale, effetti non lineari, anisotropia, invecchiamento, plasticità e fenomeni di adsorbimento/desorbimento. Nonostante i recenti progressi sperimentali e computazionali, rimane ancora incompleta la comprensione quantitativa del legame tra proprietà interfaciali microscopiche, leggi costitutive bidimensionali e comportamento collettivo del sistema sotto flusso. Il progetto si propone di sviluppare strumenti teorici e numerici per descrivere la dinamica di sistemi multifasici in presenza di interfacce reologicamente complesse. Gli obiettivi principali sono: formulare e implementare modelli costitutivi per interfacce viscoelastiche, viscoplastiche o caratterizzate da tensione superficiale non uniforme; analizzare il ruolo della reologia interfaciale nella distribuzione degli sforzi, nella deformazione e nella stabilità di gocce, bolle e film sottili; studiare i meccanismi di rottura, coalescenza e rilassamento interfaciale; costruire modelli predittivi capaci di collegare la scala locale dell'interfaccia alla risposta macroscopica del materiale multifasico.

Il programma triennale sarà articolato in tre fasi. Nel primo anno, verrà condotta un'analisi critica dello stato dell'arte e saranno definiti i sistemi modello, le ipotesi fisiche e le equazioni che governano i sistemi. Saranno inoltre selezionati o sviluppati approcci numerici idonei a seconda delle configurazioni considerate. Nel secondo anno, si procederà all'implementazione e alla validazione dei modelli mediante casi di riferimento, studiando la risposta di singole gocce o bolle in flussi di taglio, estensionali o confinati, al variare di numero di capillare, rapporto di viscosità, concentrazione di specie interfaciali e parametri reologici superficiali. Nel terzo anno, l'attenzione sarà rivolta a sistemi più complessi, quali emulsioni concentrate, interazioni tra più interfacce e flussi in geometrie realistiche, con l'obiettivo di derivare leggi efficaci e criteri di stabilità applicabili a processi industriali.

Il progetto contribuirà allo sviluppo di una descrizione predittiva dei sistemi multifasici con interfacce complesse, fornendo modelli e strumenti computazionali utili per la progettazione razionale di materiali strutturati e per l'ottimizzazione di processi quali emulsificazione, schiumatura, coating, microfluidica e formulazione di prodotti complessi.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

Disponibilità di risorse di calcolo avanzato per simulazioni numeriche e di laboratori per attività sperimentali nel campo della scienza e tecnologia della materia soffice

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

Permanenza di 6-12 mesi nel gruppo di Jan Vermant presso ETH Zurich (Svizzera) e/o Permanenza di 6-12 mesi nel gruppo di Patrick Anderson presso TU/Eindhoven (Paesi Bassi)

58) Proponent: Paolo A. Netti -SB IIT - ENG

Proposed research topic: Brain-on-chip systems for studying neurodegenerative diseases

Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

Current treatments for neurodegenerative diseases primarily alleviate symptoms without halting disease progression. This limitation stems from an incomplete understanding of how these diseases originate and evolve, largely due to the lack of effective tools for monitoring neural circuitry and brain dynamics over time. In this context, developing advanced in-vitro models that better replicate the human brain's microenvironment has become essential to better study and understand brain dynamics.

The human brain is an extraordinarily complex and adaptive organ composed of billions of neurons and supporting glial cells (astrocytes, microglia, oligodendrocytes), all working together to process information and control vital functions. A key feature of this system is synaptic plasticity, the ability of synapses, connections between neurons, to change in strength or structure in response to stimuli. Synaptic plasticity is fundamental to learning and memory and its disruption is implicated in numerous neurological and psychiatric disorders. Traditional two-dimensional (2D) in-vitro models, while useful for basic research, fall short in mimicking the brain's complex architecture and cellular interactions. They lack the three-dimensional (3D) structure and dynamic environment necessary to accurately study neuronal connectivity, synaptic plasticity, and disease mechanisms.

In recent years, significant progress has been made in creating more sophisticated 3D in-vitro models, offering improved biological relevance and experimental control. These models include: (i) Neurospheroids and Brain Organoids: Self-organizing 3D structures derived from stem cells that mimic aspects of brain development and organization; (ii) Assembloids: Complex systems created by fusing multiple organoids to model interactions between different brain regions; (iii) Micro-Tissue Engineered Neuronal Networks (micro-TENNs): Engineered constructs that facilitate controlled study of long-range neuronal connections.

A major breakthrough in this field is the development of brain-on-chip (BoC) platforms, which integrate microfluidic technologies with cell cultures to recreate precisely controlled, physiologically relevant microenvironments. These systems enable dynamic control of chemical, physical, and mechanical cues, offering new opportunities to investigate neural activity, disease progression, and potential therapies under realistic conditions. The integration of BoC systems with embedded microelectrode arrays (MEA) represents a particularly promising direction, enabling direct, non-invasive, and longitudinal recording of neuronal electrical activity within a physiologically relevant 3D microenvironment. By coupling BoC platforms with electrophysiological sensing technologies, it becomes possible to monitor network-level activity, synaptic communication, and circuit dynamics in real time, capturing how these parameters evolve as neurodegenerative processes unfold. This convergence of microfluidic-based tissue engineering and electrode-based neural interfacing offers a powerful tool to bridge the gap between structural complexity and functional readout, paving the way toward more predictive in-vitro models for studying disease mechanisms and testing therapeutic interventions.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD work will be carried out at the Centre for Advanced Biomaterials for Health Care of the Italian Institute of Technology in Naples. The center is equipped with cutting-edge instrumentation

enabling synthesis, micro and nano-fabrication and characterization of material platforms and microfluidic devices, along with state-of-art cell culture facilities for in vitro testing and organotypic tissue fabrication. Furthermore, the laboratory include microscopy and spectral microscopy facilities for cell and material imaging and cell-material interface characterization. Also, the laboratories are equipped with instruments to perform electrophysiological analysis.

Collaboration with national and international laboratories are foreseen including prof. Ferruccio Pisanello IIT Lecce, Prof. Massimo De Vittorio Technical University of Denmark (DTU), Copenhagen.

Brief information relating to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A period abroad of at least 6 months will be programmed.

59) Proponent: Paolo A. Netti -SB IIT

Proposed research topic: Brain-on-chip platforms for electrophysiological study of connectomics

Reference curriculum: X Materials and Structural Engineering Chemical engineering Technologies and Production Systems Design of Sustainable and Safe Products and Processes

Summary of the Research Project (state of the art, short program of the planned activities and objectives) max 500 words

Current treatments for neurodegenerative diseases primarily alleviate symptoms without halting disease progression. This limitation stems from an incomplete understanding of how these diseases originate and evolve, largely due to the lack of tools capable of resolving neural activity at the level of single units and interconnected networks over time. In this context, developing advanced electrophysiological approaches to monitor and characterize neuronal activity within 3D in-vitro models has become essential to better understand how brain circuits function and how their dysfunction contributes to disease.

The human brain is an extraordinarily complex and adaptive organ composed of billions of neurons and supporting glial cells (astrocytes, microglia, oligodendrocytes), all working together to process information and control vital functions. A key feature of this system is synaptic plasticity, the ability of synapses, connections between neurons, to change in strength or structure in response to stimuli. Synaptic plasticity is fundamental to learning and memory, and its disruption is implicated in numerous neurological and psychiatric disorders. Understanding these processes requires the ability to monitor neuronal activity not only at the level of individual cells, but also as it propagates and organizes across interconnected networks.

Microelectrode array (MEA) technology has emerged as a powerful tool for capturing this activity, enabling non-invasive, long-term recording of extracellular electrical signals from neural networks cultured in 3D in-vitro models such as neurospheroids, brain organoids, and organ-on-chip platforms. Through spike detection and spike sorting algorithms, individual neuronal units can be isolated and characterized in terms of firing rate, burst dynamics, and spike waveform. Beyond single-unit analysis, extracting and comparing patterns of coordinated activity across multiple electrodes allows the reconstruction of functional connectivity maps, revealing how single neuronal units integrate into interconnected circuits.

A particularly promising direction lies in the systematic comparison between the activity of isolated neuronal units and that of interconnected networks, in order to study connectomics: how connectivity strength, synchrony, and network topology emerge from and influence single-cell behavior. Applying correlation-based and graph-theoretical algorithms to MEA-derived datasets makes it possible to quantify functional connectivity, identify hub neurons and communication pathways, and track how these network properties change under physiological and pathological conditions, including those mimicking neurodegenerative processes.

The successful candidate will contribute to the electrophysiological characterization of 3D neural in-vitro models using MEA-based recordings, with a focus on single-unit analysis, network-level activity extraction, and functional connectivity mapping. This research will provide insight into how neuronal connectomics is established and disrupted, offering immense potential to deepen our understanding of brain function, disease mechanisms, and therapeutic interventions.

Brief information relating to: operational and scientific structures (equipment, software, laboratories,...) available to the PhD student for carrying out the proposed activity, collaborations with other Italian and foreign research bodies (possibly also with companies), potentially relevant to the proposed topic.

The PhD work will be carried out at the Centre for Advanced Biomaterials for Health Care of the Italian Institute of Technology in Naples. The center is equipped with cutting-edge instrumentation enabling synthesis, micro and nano-fabrication and characterization of material platforms and microfluidic devices, along with state-of-art cell culture facilities for in vitro testing and organotypic tissue fabrication. Furthermore, the laboratory include microscopy and spectral

microscopy facilities for cell and material imaging and cell-material interface characterization. Also, the laboratories are equipped with instruments to perform electrophysiological analysis. Collaboration with national and international laboratories are foreseen including prof. Ferruccio Pisanello IIT Lecce, Prof. Massimo De Vittorio Technical University of Denmark (DTU), Copenhagen.

Brief information relating to any period abroad planned for the PhD student (period, research group, University, research institution....)

A period abroad of at least 6 months will be programmed.

60) Proponente: Prof. Paolo Netti – progetto A-Zione

Tematica di ricerca proposta: Engineering Living Alginate-Based Microreactors for Sustainable Water Bioremediation

**Curriculum di riferimento: Ingegneria dei Materiali e delle Strutture Ingegneria chimica
Tecnologie e sistemi di produzione Progettazione di prodotti e processi sostenibili e sicuri**

Sintesi del Progetto di Ricerca (stato dell'arte, breve programma previsto per le attività e obiettivi) max 500 parole

The increasing pressure on freshwater resources and the growing demand for sustainable wastewater treatment technologies require new materials capable of combining environmental remediation with resource recovery. Among emerging biological solutions, microalgae represent one of the most promising platforms owing to their ability to simultaneously remove nutrients, capture carbon dioxide and generate valuable biomass. However, the practical implementation of suspended algal cultures remains limited by poor biomass recovery, low process stability and limited control over biological activity. Living encapsulation technologies offer an alternative manufacturing paradigm by transforming freely suspended microorganisms into engineered living microreactors capable of operating under controlled physicochemical conditions. In particular, hydrogel-based encapsulation enables precise regulation of mass transport, mechanical stability and cellular microenvironment, while preserving long-term biological functionality.

This PhD project aims to develop engineered alginate-based living microreactors containing functional microalgae for advanced wastewater treatment and circular bioeconomy applications. The research will investigate how encapsulation parameters, hydrogel composition and microreactor architecture regulate algal viability, metabolic activity and pollutant removal efficiency. Microalgae will be encapsulated within engineered alginate microgels produced through advanced droplet generation technologies. The influence of hydrogel composition, crosslinking density, bead size and internal porosity on nutrient diffusion, gas exchange, light penetration and cellular proliferation will be systematically investigated. Particular attention will be devoted to understanding the relationships between material architecture and biological performance in order to maximize long-term operational stability. The resulting living microreactors will be characterized through advanced microscopy, diffusion analysis, mechanical testing and quantitative image analysis. Biological functionality will be evaluated by monitoring cell viability, photosynthetic activity, nutrient uptake and biomass productivity under dynamic culture conditions representative of wastewater treatment systems. Experimental data will support the development of predictive models correlating hydrogel properties, transport phenomena and biological performance.

The project integrates biomaterials engineering, microalgal biotechnology, transport phenomena and environmental bioengineering within a multidisciplinary framework. Beyond wastewater treatment, the developed encapsulation platform will provide a versatile strategy for engineering living materials applicable to biocatalysis, carbon capture, environmental sensing and distributed biomanufacturing. By combining advanced hydrogel engineering with living biological systems, the project aims to establish a new generation of programmable living bioreactors capable of transforming wastewater treatment from a passive purification process into an active platform for resource generation and environmental regeneration.

Informazioni sintetiche relative a: strutture operative e scientifiche (attrezzature, software, laboratori,...) a disposizione del dottorando per lo svolgimento dell'attività proposta, collaborazioni con altri enti di ricerca italiani ed esteri (eventualmente anche con aziende) potenzialmente rilevanti alla tematica proposta.

The research will be carried out at the Interdepartmental Research Centre on Biomaterials (CRIB) and the Department of Chemical, Materials and Industrial Production Engineering (DICMAPI), University of Naples Federico II, within the A-ZIONE project. The candidate will have access to laboratories for biomaterials synthesis, hydrogel engineering, microfluidics, algal cultivation, advanced microscopy, rheological characterization, transport analysis and environmental

bioprocesses. The project will benefit from collaborations with industrial and academic partners involved in sustainable wastewater treatment technologies and circular bioeconomy.

Informazioni sintetiche relative ad eventuale periodo all'estero previsto per il dottorando (periodo, gruppo di ricerca, Università, ente di Ricerca....)

The PhD candidate will spend at least six months at an internationally recognized institution active in environmental biotechnology, hydrogel engineering or microalgal bioprocesses. The mobility period will provide advanced training in living materials, bioreactor engineering and sustainable water technologies while strengthening international collaborations.