

## ASSEGNO DI RICERCA

**Tutor:** *Dott. Diego Marazziti*

**Titolo dell'assegno:** *valutazione della sostenibilità in sistemi per la produzione di carboni di seconda generazione e carburanti a emissione negativa di carbonio*

## PROGETTO DI RICERCA

Il progetto di ricerca dell'assegnista si inserisce nelle attività del Gruppo di Ricerca in Gestione Ambientale (EMRG) del CIRSA-Università di Bologna che mira a sviluppare soluzioni innovative per le tecnologie di trasformazione della biomassa in carboni di seconda generazione e co-produzione di energia e loro possibili integrazioni. Per carboni di seconda generazione (second generation carbons, 2G-C), si intende una vasta gamma di sostanze a base di carbonio, diverse per composizione, struttura, proprietà, impiego aventi in comune il processo tecnologico di fabbricazione: sono ottenute attraverso carbonizzazione di sostanze carboniose ed eventuali componenti minerali (metalli, alcali e altre componenti inorganiche) la cui composizione e preparazione è progettata in termini di azione chimica, fisica e microbiologica per usi quali l'agricoltura, il trattamento di reflui industriali/liquidi e gassosi in sostituzione dei carboni attivi, la rimozione di contaminanti con recupero di nutrienti (P e N) ed elementi chimici (come ad esempio B, Mg, Mn), l'utilizzo in catalisi e miglioramento di processi industriali, elettrochimica e materiali per l'edilizia. In questa categoria, il prodotto più noto è il biochar, ovvero carbone vegetale prodotto specificatamente per l'utilizzo agronomico e ambientale attraverso l'applicazione al suolo. Sia le sostanze carboniose che la componente minerale costituenti i 2G-C possono essere ottenute sia da scarti di produzione (sottoprodotti o rifiuti) di origine biologica rinnovabile (fonti sostenibili di biomassa di scarto) come da scarti di produzione di materiali e sostanze carboniose di origine fossile. Il termine 'carbone' si riferisce alla componente carboniosa dei 2-GC, mentre la qualifica "di seconda generazione" sta ad indicare, al tempo stesso sia la produzione dei carboni da scarti, in ottica di circolarità dei materiali, che l'avanzamento tecnologico riferito alla progettazione e ingegnerizzazione delle sostanze e dei materiali ottenuti.

Questa classe di prodotti rispetto ai carboni attivi e alla carbonella vegetale esprime proprietà nuove, di cui la più importante è quella dell'immagazzinamento del carbonio che varia a seconda della destinazione da pochi anni a centinaia di anni.

La produzione dei 2G-C sottoforma di biochar rappresenta una traiettoria di decarbonizzazione riconosciuta dall'IPCC che richiede la produzione di circa 850Mt di carboni. Questo implica la costituzione di nuove filiere di fornitura, produzione di carboni intermedi e formulazione di carboni per i consumatori finali. La trasformazione dei processi produttivi in agricoltura e nell'industria e l'effetto delle proprietà innovative nei prodotti richiede una valutazione con approcci e tecniche nuove per comprendere l'impatto di nuovi processi e prodotti. Il progetto di ricerca nello specifico riguarda lo sviluppo di metodi per relativi all'analisi economico-ambientale del trattamento di biomasse di seconda generazione e di altri feedstock nel quadro del progetto Horizon Europe NET-Fuels secondo il piano di lavoro specificato nel seguito.

## PIANO DI LAVORO

Il progetto NET-Fuels svilupperà una nuova tecnologia per la produzione di carburanti a emissione negativa da residui biogenici di basso valore (come digestato, legname di scarto, patate) attraverso una combinazione di conversione termochimica, separazione

dell'idrogeno dal syngas, combustione in atmosfera di ossigeno del gas rimanente, conversione bio-elettrochimica della CO<sub>2</sub> in metano e sequestro del carbonio nel terreno attraverso il biochar. Il processo genererà anche come prodotto aggiuntivo un biocarburante intermedio (olio di pirolisi di alta qualità) per il quale esiste un percorso di conversione in carburanti drop-in dimostrato nel progetto H2020 TO-SYN-FUEL. Il progetto porterà il processo integrato a TRL 5, fornendo una piattaforma (in termini di fattibilità tecnica, prestazioni economiche e sostenibilità ambientale e sociale) per un ulteriore progetto di dimostrazione e convalida.

Il piano di lavoro prevede le seguenti attività:

1. Studio in dettaglio degli effetti della tecnologia NET-Fuels (in particolare le emissioni di GHG) considerando le condizioni (parametri) rilevanti della materia prima, le operazioni e i casi studio nel tempo e la localizzazione, tenendo conto dei cambiamenti futuri nella produzione di energia e nelle politiche di sostenibilità attuate nell'UE. L'Università di Bologna (UNIBO) realizzerà un modello parametrico basato sul *Life Cycle Inventory* prodotto nel progetto per calcolare le emissioni di GHG ed eseguirà un'analisi di sensitività per identificare e selezionare da 4 a 10 parametri chiave che influenzano il bilancio dei GHG. Ad ogni parametro chiave verrà assegnato un limite di confidenza. UNIBO definirà le tabelle di ricerca, ovvero le funzioni/proprietà che collegano un parametro chiave all'output del modello (es. Il contenuto di acqua della biomassa è collegato alla spesa energetica per l'essiccazione e quindi al bilancio energetico complessivo). Il modello verrà implementato su Vensim o MatLab o su un foglio di calcolo specifico. Questo passaggio sarà realizzato in collaborazione con la Silesian University of Technology che fornirà dati e verifica dei risultati. Sarà realizzato anche un modello dinamico per calcolare le emissioni di GHG al variare di dati di inventario specifici. Per prevedere l'effetto della politica Fit-for-55 saranno inclusi gli obiettivi di energia rinnovabile per il 2030 e gli obiettivi di efficienza energetica per il consumo di energia finale e primaria per studiare i flussi elementari e non elementari rilevanti (min. 2 max 10 flussi). Saranno inoltre predisposti inventari alternativi basati su set di dati, database e letteratura disponibili per calcolare le emissioni di GHG degli usi alternativi. Tutte le informazioni verranno convogliate in un foglio di calcolo semplificato in cui le prestazioni delle emissioni di gas a effetto serra in base a parametri e condizioni chiave possono essere selezionate da un utente finale o da un decisore politico.
2. La seconda fase dell'attività consiste in: (a) collegare il sistema di prodotti NET-Fuels a tutti i prodotti di fornitura e ai settori e usi corrispondenti; (b) aggregazione di dati e settori regionali; (c) definizione dei limiti dell'espansione industriale: disponibilità potenziale di biomassa residua; (c) calcolo degli effetti economici e interpretazione; (d) calcolo degli effetti sul lavoro, degli effetti sulle emissioni e degli effetti sulle risorse. L'Assegnista si avvarrà di un database specifico (EXIOBASE3), che utilizza una tabella rettangolare di 163 classificazioni di settore per 200 prodotti, 3 livelli di competenze occupazionali per genere, 417 categorie di emissioni, 662 categorie di materiali e risorse e collegherà il sistema di prodotti NET-Fuels ai corrispondenti prodotti definiti in EXIOBASE. I settori rilevanti saranno aggregati in categorie settoriali specifiche secondo il sistema ISIC (International Standard Industrial Classification of All Economic Activity) delle Nazioni Unite. Attraverso un foglio di calcolo dedicato, verranno visualizzati e interpretati gli effetti economici. Sarà ad esempio possibile capire quali sono i cambiamenti indotti (valori monetari in €) in tutti i settori collegati (es. Agricoltura, Energia, Servizi, ecc.) e calcolare gli effetti di *spill over* legati alla diffusione della tecnologia e sistema NET-Fuels per settore e area geografica.
3. Valutazione del quadro normativo per l'applicazione delle tecnologie sviluppate nel

progetto. Definizione di un elenco di requisiti e priorità relativi a: iniezione di metano nella rete, certificazione del biochar, emissioni industriali, gestione delle acque, ecc. Definizione, con gli altri Partner del Progetto, di configurazioni e condizioni di impianto specifiche che potrebbero richiedere un'indagine specifica (ad esempio: stoccaggio e compressione dell'idrogeno, incentivi e schemi in paesi o aree geografiche specifici). Compilazione di un database per la gestione degli input: regolamenti e requisiti per gestire la materia prima, end-of-life dei rifiuti, livelli limite di emissione, standard H<sub>2</sub>, certificazione biochar, tipo di legislazione, giurisdizione, argomento/campo di applicazione.

4. Partecipazione alle attività di Comunicazione e Disseminazione del Progetto. Compatibilmente con le attività richieste per il progetto NET-Fuels l'assegnista sarà coinvolto anche nello studio di nuovi impianti BECCS (*bioenergy with carbon capture and storage*) con produzione di 2G-C.

Il piano scientifico include, inoltre lo sviluppo di attività di III missione relative alla divulgazione della cultura dell'economia circolare e dei carboni di seconda generazione che può includere la partecipazione a momenti di divulgazione (ad esempio "Notte dei Ricercatori"), organizzazione e sviluppo di seminari esterni (es. scuola biochar) e altre attività di disseminazione e comunicazione via sito internet, sviluppo e realizzazione di materiali comunicativi, partecipazione a iniziative di educazione ambientale nell'ambito delle attività espresse dal gruppo di gestione ambientale EMRG.

## RESEARCH GRANT

**Tutor:** Dr. Diego Marazza

**Title:** *Sustainability assessment in systems for the production of second-generation carbons and bioenergy production of carbon-negative fuels*

## RESEARCH PROJECT

The research project of the research fellow is part of the activities of the Environmental Management Research Group (EMRG) of the CIRSA-University of Bologna (UNIBO in the following), which aims to develop innovative solutions for technologies for the transformation of biomass into second-generation carbons and co-production of energy and their possible integration.

By *second-generation carbons* (2G-C), we mean a wide range of carbon-based substances, differing in composition, structure, properties, use, having in common the technological manufacturing process: they are obtained through the carbonization of carbonaceous substances and by possible addition of mineral components (metals, alkalis and other inorganic components). The 2G-C composition and preparation is designed in terms of chemical, physical and microbiological action for uses such as agriculture, the treatment of industrial/liquid and gaseous effluents as a replacement for activated carbons, the removal of contaminants with recovery of nutrients (P and N) and chemical elements (e.g. B, Mg, Mn), use in catalysis and improvement of industrial processes, electrochemistry and building materials. In this category, the best known product is biochar, i.e. charcoal produced specifically for agronomic and environmental use through soil application. Both the carbonaceous substances and the mineral component of 2G-C can be obtained from production waste (by-products or waste) of renewable biological origin (sustainable sources of waste biomass) as well as from production waste materials and carbonaceous substances of fossil origin. The term 'carbon' refers to the carbonaceous component of 2G-C, while the term 'second-generation' indicates both the production of carbonized material from waste, with a view to material circularity, and the technological advancement related to the design and engineering of the substances and materials obtained. This class of products expresses new properties compared to activated carbons and charcoal, the most important of which is that of carbon storage, which varies depending on the destination from a few years to hundreds of years. The research project specifically concerns the development of methods for the economic-environmental analysis of the processing of second-generation biomass and other feedstocks, within the framework of the Horizon Europe NET-Fuels project according to the work plan specified below.

### **The work plan includes the following activities:**

The NET-Fuels project will develop a new technology for the production of negative-emission fuels from low-value biogenic residues (such as digestate, waste wood, pruning) through a combination of thermochemical conversion, separation of hydrogen from syngas, combustion in an oxygen atmosphere of the remaining gas, bioelectrochemical conversion of CO<sub>2</sub> to methane and carbon sequestration in the soil through biochar. The process will also generate as an additional product an intermediate biofuel (high quality pyrolysis oil) for which there is a drop-in fuel conversion pathway demonstrated in the H2020 project TO-SYN-FUEL. The project will take the integrated process to TRL 5, providing a platform (in terms of technical feasibility, economic performance and environmental and social sustainability) for a further demonstration and validation project.

1. Study in detail the effects of NET-Fuels technology (especially GHG emissions) considering the relevant conditions (parameters) of the raw material, operations and case studies over time and location, considering future changes in energy production and sustainability policies implemented in the EU. UNIBO will implement a parametric model based on the Life Cycle Inventory model to calculate GHG emissions and will perform a sensitivity analysis to identify and select 4 to 10 key parameters that influence the GHG balance. Each key parameter will be assigned a confidence limit. UNIBO will define look-up tables, i.e. functions that link a key parameter to the model output (e.g. water content to energy expenditure for drying and thus to the overall energy balance). The model will be implemented on Vensim or MatLab or a specific spreadsheet. This step will be carried out in cooperation with Silesian University of Technology, which will provide data and verification of the results. A dynamic model will also be implemented to calculate GHG emissions as specific inventory data changes. To predict the effect of the Fit-for-55 policy, renewable energy targets for 2030 and energy efficiency targets for final and primary energy consumption will be included to study relevant elementary and non-elementary flows (min. 2 max. 10 flows). Alternative inventories will also be prepared based on available datasets, databases and literature to calculate GHG emissions from alternative uses. All information will be fed into a simplified spreadsheet in which GHG emission performance based on key parameters and conditions can be selected by an end user or policy maker.

2. The second phase of the activity can be subdivided into: (a) linking the NET-Fuels product system to all supply products and corresponding sectors and uses; (b) aggregating regional data and sectors; (c) defining the limits of industrial expansion: potential availability of residual biomass; (d) calculating economic effects and interpretation; (e) calculating labour effects, emission effects and resource effects. The researcher will make use of a specific database (EXIOBASE3), which uses a rectangular table of 163 sector classifications for 200 products, 3 occupational skill levels per gender, 417 emission categories, 662 material and resource categories, and will link the NET-Fuels product system to the corresponding products defined in EXIOBASE. Relevant sectors will be aggregated into sector-specific categories according to the UN International Standard Industrial Classification of All Economic Activity (ISIC) system.

Through a dedicated spreadsheet, the economic effects will be visualized and interpreted. It will be possible, for example, to understand the induced changes (monetary values in €) in all related sectors (e.g. Agriculture, Energy, Services, etc.) and to calculate the spill-over effects related to NET-Fuels by sector and geographical area.

3. Regulatory framework assessment for the application of the technologies developed in the project. Definition of a list of requirements and priorities related to methane injection into the grid, biochar certification, industrial emissions, water management, etc. Definition, with other Project Partners, of specific plant configurations and conditions that may require specific investigation (e.g. hydrogen storage and compression, incentives and schemes in specific countries or geographical areas). Compilation of an input management database: regulations and requirements to manage feedstock, waste end-of-life, emission limit levels, H<sub>2</sub> standards, biochar certification, type of legislation, jurisdiction, topic/scope.

4. Participation in Project Communication and Dissemination activities.

Compatible with the activities required for the NET-Fuels project, the research fellow

will also be involved in the study of new BECCS (bioenergy with carbon capture and storage) plants with 2G-C production.

The scientific plan also includes the development of III mission activities related to the dissemination of the culture of the circular economy and second-generation carbons, which may include participation in dissemination events (e.g. 'Researchers' Night"), organization and development of external seminars (e.g. biochar school) and other dissemination and communication activities via the website, development and production of communication materials, participation in environmental education initiatives within the scope of the activities expressed by the EMRG environmental management group.