**Titolo: Analisi degli impatti ambientali per la produzione di “*drop-in chemicals*” da fanghi di depurazione**

**Progetto di ricerca**

Il trattamento delle acque reflue industriali e urbane è fondamentale per garantire la salute pubblica e la tutela dell'ambiente, ma può generare enormi quantità di fanghi che devono essere adeguatamente smaltiti. Il trattamento di fanghi è solitamente un'operazione costosa che comprende diverse opzioni di gestione come lo smaltimento in discarica, l'incenerimento, il compostaggio, la digestione anaerobica e l'utilizzo diretto sul terreno. Tuttavia, il contenuto relativamente elevato di materiale organico rende i fanghi di trattamento delle acque reflue (*wastewater treatment sludge*, WWTS) una potenziale fonte di sostanze chimiche e materiali di origine biologica, che possono sostituire i loro equivalenti di origine fossile e soddisfare i principi di un’economia circolare e gli obiettivi di sviluppo sostenibile.

Studi precedenti del gruppo di ricerca hanno dimostrato la produzione di batteri ricchi di poliidrossialcanoati (*polyhydroxyalkanoates*, PHA) mediante un processo biologico-termochimico ibrido che tratta i WWTS con carbonizzazione idrotermale e una sequenza definita di passaggi biologici, che sfrutta la capacità della coltura mista microbica di convertire materiali complessi in materiale ricco di PHA. Queste conoscenze hanno costituito la base per il progetto PRIN “*Renewable Chemicals from Wastewater Treatment Sludge*” (RECHEWS), in cui il processo “da fanghi a PHA” è ulteriormente sviluppato per produrre composti chimici “*drop-in*” attraverso un approccio privo di solventi e basato sulla distillazione termolitica di materiale ricco in PHA. In particolare, RECHEWS esplorerà un percorso di conversione totalmente nuovo da fanghi a composti chimici mediante la conversione degli atomi di carbonio in acido crotonico e altri *drop-in chemicals*, senza il consumo di risorse fossili e consentendo una riduzione del volume di fanghi da smaltire. L'acido crotonico, attualmente al 100% di origine fossile, trova applicazione nei settori dei rivestimenti, delle vernici, dei tessili, dei leganti, degli adesivi, dei flocculanti, della ceramica, dell'agrochimica e dei trasporti in cui l'acido crotonico è un elemento costitutivo nella sintesi del poli(vinile acido acetato-co-crotonico).

Questo progetto di ricerca sarà dedicato alla messa a punto di un modello di valutazione del ciclo di vita (*life cycle assessment*, LCA) per quantificare gli impatti ambientali del processo di produzione in esame e i potenziali benefici ottenibili attraverso la sostituzione di una produzione da fonti fossili attualmente in commercio. Il lavoro da svolgere si baserà sugli standard internazionali di riferimento per l’LCA (ISO 14040-14044) e avrà come obiettivi:

i) la valutazione degli impatti ambientali dell'acido crotonico e altri composti chimici drop-in da fonte fossile e da fanghi utilizzando tecniche di *flow chemistry*; ii) una determinazione specifica degli impatti ambientali derivanti da ciascuna fase del processo proposto in RECHEWS; iii) un confronto tra i processi di produzione da fonti fossile e da fanghi per quantificare la potenziale riduzione dei carichi ambientali ottenibili mediante un’implementazione di RECHEWS nell’attuale sistema di gestione dei fanghi da depurazione.

**Piano delle attività**

Le attività pianificate prevedono che il/la ricercatore/ricercatrice effettui una breve revisione critica della letteratura, con particolare attenzione allo stato attuale delle attività relative alle vie di produzione da fonte fossile dell'acido crotonico e di altri composti chimici *drop-in*. Un modello LCA sarà sviluppato per garantire la coerenza tra l'obiettivo e la portata del progetto RECHEWS e la valutazione degli impatti ambientali per i percorsi di produzione in esame. A questo scopo:

i confini del sistema, l'unità funzionale e il flusso di riferimento saranno fissati in base ai principali processi unitari e alle relative caratteristiche prestazionali del sistema (ad esempio, l'unità in massa di acido crotonico da produrre); ii) verranno raccolti dati qualitativi e quantitativi per ciascuna unità di processo identificata. La prospettiva adottata nel progetto RECHEWS consentirà la raccolta di tali dati principalmente da attività di monitoraggio e fonti primarie, soddisfacendo criteri di alta qualità dei dati per l'inventario del ciclo di vita. Verranno utilizzati un'approfondita revisione della letteratura e i database più completi che comprendano prodotti e processi chimici (ad esempio, Ecoinvent) per integrare i dati primari e raccogliere informazioni rilevanti per i sistemi quando non direttamente misurabili; iii) la valutazione dell'impatto del ciclo di vita applicherà meccanismi ambientali e modelli di caratterizzazione per correlare i risultati dell'LCI agli indicatori di categoria selezionati per una stima quantitativa degli impatti ambientali; iv) controlli di completezza, sensibilità e incertezza saranno effettuati in modo continuo e iterativo durante l'analisi per valutare la coerenza tra obiettivo, metodi e modello e, se necessario, intraprendere tempestive misure correttive.

La persona identificata potrà essere coinvolta in progetti di collaborazione nazionali ed internazionali con istituti di ricerca nazionali ed europei. Si vuole formare una figura professionale che possa interagire con ricercatori di varie discipline scientifiche al fine di promuovere collaborazioni di ricerca negli studi di sostenibilità ambientale. La formazione prevede la partecipazione attiva a Conferenze, Congressi, Scuole di approfondimento a livello nazionale ed internazionale e per gli argomenti di pertinenza del progetto stesso.

**Title: Life cycle impact assessment of renewable chemicals from wastewater treatment sludge**

**Research project**

The treatment of industrial and urban wastewater is fundamental to ensuring public health and environmental protection, but it may generate huge amounts of sludge which has to be properly disposed of. Sludge treatment is usually a costly operation that includes several management options, namely landfilling, incineration, composting, anaerobic digestion, and direct usage on land. However, the relatively high content of organic material makes wastewater treatment sludge (WWTS) a potential source for bio-based chemicals and materials that can replace their fossil-based equivalents and meet with the circular economy principles and Sustainable Development Goals.

Past activity of the research team has demonstrated the production of polyhydroxyalkanoates (PHA)-rich bacteria with a hybrid thermochemical biological process that treat WWTS with hydrothermal carbonization and a defined sequence of biological steps, which exploits the capability of microbial mixed culture to converts complex materials into PHA-rich material.

This knowledge constituted the basis for the PRIN project “Renewable Chemicals from Wastewater Treatment Sludge” (RECHEWS), in which the WWTS-to-PHA process is further develop to produce drop-in chemicals through a solvent free approach based on thermolytic distillation of PHA rich material. In particular, RECHEWS will open a totally new conversion pathway of “WWTS-to-chemicals” by converting the C atoms in WWTS into crotonic acid and other drop-in chemicals, without consuming new resources/feedstock, and simultaneously decreasing the volume of WWTS to be disposed of. Crotonic acid, currently 100% of fossil origin, finds application in the coating, paint, textile, binders, adhesives, flocculants, ceramics, and agrochemical industries, and transportation in which crotonic acid is as a building block in the synthesis of poly(vinyl acetate-co-crotonic acid).

This research project will be devoted to set-up a life cycle assessment (LCA) model to quantify the environmental impacts of the production routes under scrutiny and the potential benefits achievable through replacement of the fossil-based production routes currently in play. The work to be performed will build on the LCA framework as defined by the ISO 14040-14044 and will aim at:

i) evaluating the environmental impacts for renewable crotonic acid and alternative drop-in chemicals production routes using flow chemistry; ii) providing a specific determination of the environmental burdens resulting from each stage of the novel process; iii) comparing the bio-based with the fossil-based production routes to quantify the potential reduction of environmental burdens.

**Activities**

The planned activities expect the researcher to carry out a succinct critical review of the literature, with focus on current state of play regarding the fossil-based production routes of crotonic acid and other drop-in chemicals. A first LCA model will be developed and framed to ensure consistency between the goal and scope of the RECHEWS project and the environmental impact assessment for the production routes under scrutiny. To this aim: i) the system boundaries, the functional unit and reference flow will be set according to the main unit processes and the related performance characteristics of the system (e.g., the mass unit of crotonic acid to be produced); ii) qualitative and quantitative data will be collected for each unit process identified. The perspective adopted in the RECHEWS project will enable the collection of those data mainly from monitoring activities and primary sources, meeting high-quality data criteria for life cycle inventory (LCI). A thorough literature review and the most complete databases including chemical products and processes (e.g., Ecoinvent) will be used to complement primary data and gather information relevant to the background systems when not directly measurable; iii) life cycle impact assessment will then apply environmental mechanisms and characterization models to relate the LCI results to the selected category indicators for a quantitative estimate of environmental impacts; iv) completeness, sensitivity and uncertainty checks will be carried out ongoing and iteratively during the analysis to evaluate the consistency between the goal, methods, and data, and undertake timely corrective measures if needed.

The researcher will be involved in different collaboration projects, both national and international, with various Italian and foreign research institutions. It is intended to form a professional profile able to interact with other researchers of different scientific disciplines, to foster research collaboration in environmental sustainability studies. Formation will be completed with an active participation to Conferences, Congresses, Schools at national and international level, concerning the topics related to this project.