
Abstract

In Italia il sottovaglio, la frazione fine derivante dal processo di trattamento meccanico biologico del rifiuto solido urbano indifferenziato, è generalmente sottoposto ad un processo di stabilizzazione biologica aerobica, al fine di produrre una frazione organica stabilizzata (FOS) che, successivamente, viene conferita in discarica. Dalle analisi condotte presso il polo impiantistico "Case Passerini" di Sesto Fiorentino (FI) è emerso che il sottovaglio è costituito per più del 50-60% in peso da carta, legno e residui alimentari ed è caratterizzato da un'umidità che può variare tra il 25-45%, a seconda della stagione: tali proprietà aprono la possibilità di applicare il processo di carbonizzazione idrotermica (HTC), un processo termochimico condotto a temperature e pressioni moderate, in presenza di acqua liquida, adatto per substrati umidi. I prodotti in uscita dal processo sono l'*hydrochar*, un solido arricchito in carbonio che può sostituire i combustibili fossili tradizionali, una fase liquida, le cui caratteristiche sono legate al tipo di substrato e alle condizioni di processo, e una fase gassosa, costituita da CO₂ e CO. Questo studio è basato sui risultati preliminari della sperimentazione del processo HTC, condotto a temperatura di 220°C, tempo di residenza di 1, 4 e 8 ore e rapporto biomassa secca-acqua (B/W) di 0.15. Lo scopo è quello di confrontare, mediante il bilancio di energia primaria e il *Life Cycle Assessment* (LCA), il processo attuale di trattamento del sottovaglio con un ipotetico impianto HTC, che tratta 40'000 ton/anno di substrato con un'operatività di 8'000 ore/anno, nell'ipotesi di recupero di calore rigenerativo. Per eseguire un'analisi LCA from *cradle-to-grave*, è stata ipotizzata una possibile filiera di trattamento dell'acqua di processo, la cui caratterizzazione è stata estrapolata dai dati di letteratura in termini di concentrazione di COD. Vista l'elevata concentrazione di COD (10-40 g/l) e la possibile presenza di composti recalcitranti, è stato proposto un sistema alternativo all'impianto di depurazione a schema classico, ipotizzando una fase di digestione anaerobica preliminare, valorizzando il biogas che se ne produce, seguita da un processo di osmosi inversa a tre stadi, necessario per rendere il permeato idoneo allo scarico in corpo idrico superficiale. I risultati del bilancio energetico mostrano che l'energia contenuta nell'*hydrochar* prodotto è maggiore di quella consumata nell'intero impianto, per tutti gli scenari analizzati. I risultati dell'*Impact Assessment*, condotto utilizzando il metodo europeo *Product Environmental Footprint*, mostrano che è possibile ottenere un beneficio ambientale dall'applicazione del processo HTC, per quasi tutte le categorie di impatto ambientale, tranne *Ecotoxicity*, *freshwater*, *Land use*, *Water use* e *Resource use, minerals and metals*.

Nell'ultima parte è stata eseguita un'analisi preliminare di fattibilità economica, nell'ipotesi semplificativa di trattamento del refluo in un impianto di depurazione a schema classico, da cui risulta che il valore di break-even dell'*hydrochar*, anche nel caso in cui una parte venga utilizzato come combustibile al posto del metano nelle caldaie interne all'impianto, è ancora troppo elevato rispetto al prezzo di mercato del carbone o del pellet.

In Italy, the undersieve fraction, i.e. the fine fraction obtained from the mechanical treatment of Mixed Municipal Solid Waste, is generally processed by aerobic biological stabilization, obtaining the so-called stabilized organic fraction. This helps to reduce the potential environmental impact (landfill gas generation and leachate organic load) in the final process destination (landfill).

The analysis on the undersieve fraction, produced at "Case Passerini" Plant in Sesto Fiorentino (FI), show that more than 50-60% in weight is made of paper, wood and food residues while the moisture content is around 25-45%, depending on the season. These characteristics allow to process the fraction through hydrothermal carbonization (HTC), a thermochemical process working at moderate temperature and pressure, in presence of liquid water that makes it suitable for wet substrates. The output of this process are the hydrochar, a carbon enhanced solid which can replace traditional fossil fuels, a liquid phase, whose characteristics are strongly dependent on the nature of the input material and process conditions, and a gas phase, mainly made of carbon dioxide and carbon monoxide. This study is based on the preliminary results of HTC tests, performed at a temperature of 220°C, residence time of 1,4 and 8 hours, and a dry biomass to water ratio (B/W) of 0.15.

The aim of the study is to compare, through primary energy balance and *Life Cycle Assessment* (LCA), the current biological treatment with a hypothetical HTC plant with a capacity of 40'000 tons of undersieve fraction per year and 8'000 working hours per year, in a regenerative heat recovery scenario.

To carry out a LCA *from cradle-to-grave*, a possible wastewater treatment process was suggested, extrapolating wastewater composition from literature data. Because of the high COD concentration (10-40 g/l) and the possible presence of recalcitrant compounds, instead of treating water in a classic wastewater treatment plant, firstly an anaerobic digestion is applied, producing energy from biogas; then, the digestate is treated in a three-stage reverse osmosis system to produce a liquid phase that can be discharged into the environment. Results from the primary energy balance show that the energy contained in the produced hydrochar is higher than the energy consumption for the process itself, in all the HTC working conditions. Results from *Impact Assessment*, carried out using the European method called *Product Environmental Footprint*, show that the HTC process provides improved environmental results, with respect to the traditional process, except for the indicators of *Ecotoxicity, freshwater, Land use, Water use e Resource use, minerals and metals*.

To complement the study, a preliminary analysis on the economic feasibility has been performed under the assumption that the wastewater is treated in a traditional plant. Results show a break-even point higher than the market price of potential substitutes such as coal or wood pellet, even in case the hydrochar is used as alternative to methane in feeding the burners.
