



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Recenti progetti del Gruppo di ricerca AWARE (Assessment on Waste and REsources)

www.aware.polimi.it

Responsabili scientifici: Mario Grosso e Lucia Rigamonti

Gruppo di lavoro: Martina Bellan, Elisabetta Brivio, Francesco Campo, Federica Carollo, Giulia Cavenago, Giuseppe Cecere, Giovanni Dolci, Sara Pantini, Stefano Puricelli, Camilla Tua, Francesca Villa



OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE DELLA FRAZIONE ORGANICA DEL RIFIUTO URBANO

Il progetto ha previsto l'analisi delle prestazioni tecniche e ambientali della filiera di trattamento del rifiuto organico, con riferimento alla tipologia di sacchetto utilizzato per la raccolta. In Italia, si registra la netta prevalenza di sacchetti in bioplastica, con una quantità ridotta di sacchetti di carta (<1%). Questi ultimi hanno il potenziale per ottimizzare la filiera di trattamento grazie a molteplici vantaggi. I sacchetti in carta permettono innanzitutto maggiori perdite di peso del rifiuto in essi contenuto a livello domestico (fino al 44% superiori rispetto alla bioplastica) con minore produzione di odori e percolato e una minore quantità di rifiuto che deve essere successivamente raccolto. In relazione al trattamento, sono stati condotti test per la valutazione del potenziale di biometanazione (BMP) dei sacchetti nel processo di digestione anaerobica (trattamento oramai largamente prevalente per il rifiuto organico in Italia) che hanno mostrato una degradabilità estremamente scarsa dei sacchetti in bioplastica in condizioni mesofile. Prove di BMP in condizioni termofile mostrano al contrario una buona degradabilità di entrambi i substrati, seppur con tempi molto lunghi per le bioplastiche. Prove termofile di co-digestione con il rifiuto organico hanno mostrato invece una degradabilità dei sacchetti in bioplastica compresa tra il 12% e il 27%, notevolmente inferiore rispetto a quella dei sacchetti in carta pari all'82%. È stata infine svolta un'analisi del ciclo vita comparativa che ha mostrato benefici sull'intera filiera di gestione del rifiuto organico con l'uso di sacchetti di carta in luogo di sacchetti in bioplastica.



Dolci G., Grosso M., Catenacci A., Malpei F., Fancello R., 2019. "Evaluation of the performances of paper and bioplastic bags in the management of food waste". Conference proceedings: Sardinia_2019, 17th international waste management and landfill symposium, Cagliari.

UNA REVIEW SUI BIOCOMBUSTIBILI PER AUTOTRAZIONE IN EUROPA

Il settore dei trasporti è responsabile di oltre il 25% delle emissioni totali di gas a effetto serra (GHG) in UE. Più specificatamente, il 53% di tali emissioni è causato direttamente da autovetture e veicoli commerciali leggeri. Negli ultimi anni, al fine di limitare le emissioni, la ricerca scientifica si sta orientando verso lo studio dei biocarburanti. Allo scopo di comprendere maggiormente la recente evoluzione dei biocarburanti e il loro inserimento nel mercato, si è condotta un'approfondita analisi sui biocombustibili attualmente utilizzati nel trasporto su strada in Europa. Lo studio, frutto dello sforzo congiunto di Politecnico di Milano, Innovhub SSI, e Vrije Universiteit Brussel, intende fornire una panoramica su produzione, uso, legislazione e studi LCA riguardanti i biocombustibili. Dall'analisi di 86 studi LCA si è evinto che, in media, l'uso dei biocombustibili può ridurre le emissioni well-to-wheel di gas serra rispetto a diesel e benzina. Tuttavia, il reale vantaggio ambientale di alcuni biocombustibili è incerto, a causa degli effetti di cambiamento di destinazione d'uso del suolo, che sono raramente analizzati dagli studi LCA. Analizzando i risultati relativi alle altre categorie di impatto ambientale, l'uso dei biocombustibili generalmente causa impatti maggiori o simili a quelli derivanti dall'uso di benzina e diesel. Uno studio LCA attualmente in corso porrà a confronto l'utilizzo di un'automobile alimentata da miscele di benzina e biocombustibili con l'utilizzo di un'automobile elettrica.



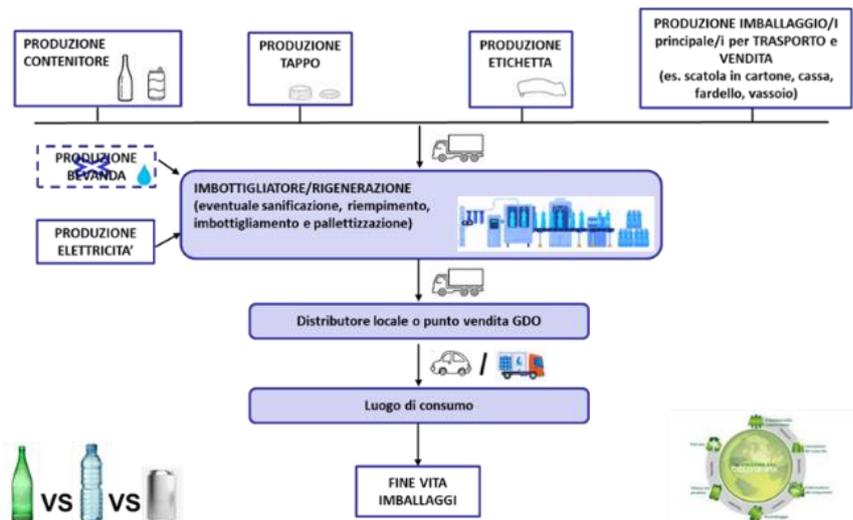
Puricelli S., Cardellini G., Casadei S., Faedo D., van den Oever A., Grosso M. (2021) "A review on biofuels for light-duty vehicles in Europe" Renewable and Sustainable Energy Reviews 137

STUDIO LCA IMBALLAGGI IN VETRO E COMPARAZIONE CON ALTRI MATERIALI DI IMBALLAGGIO

L'attività di ricerca, commissionata da Assovetro, si propone di valutare e comparare gli impatti ambientali di diverse tipologie di imballaggi primari utilizzati per la distribuzione di bevande nel contesto italiano. Obiettivo principale dello studio è comprendere, da un punto di vista ambientale, come si posiziona l'imballaggio in vetro rispetto alle alternative e individuare al contempo le principali criticità della filiera produttiva e distributiva dell'imballaggio in un'ottica di maggiore sostenibilità. In dettaglio saranno effettuate tre LCA comparative descritte brevemente di seguito:

- imballaggio di formato grande per la distribuzione di acqua minerale: bottiglia in vetro (mono-uso e a rendere) da 1 litro messa a confronto con la bottiglia in plastica monouso da 1.5 litri (100% PET vergine e 50% PET riciclato);
- imballaggio di formato piccolo per la distribuzione di birra: confronto tra bottiglia in vetro a perdere e lattina in alluminio da 33 cl;
- imballaggio di formato piccolo per la distribuzione di bibite lisce e gassate: confronto tra bottiglietta di vetro a perdere (20 cl), bottiglietta di plastica mono-uso (25-50 cl) e lattina in alluminio da 33 cl.

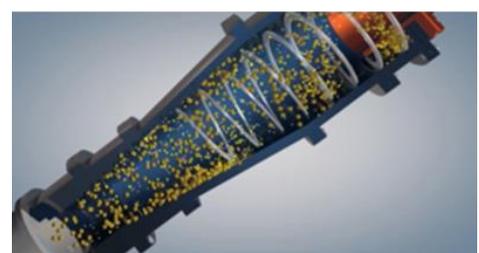
Lo studio sarà prevalentemente basato sull'utilizzo di dati primari recenti per il contesto italiano. A tale proposito, il gruppo di lavoro include anche 12 vetrerie italiane che forniranno i dati necessari per la modellizzazione della fase produttiva del vetro.



ANALISI DI SOSTENIBILITÀ DI UNA TECNOLOGIA INNOVATIVA DI FLOTTAZIONE

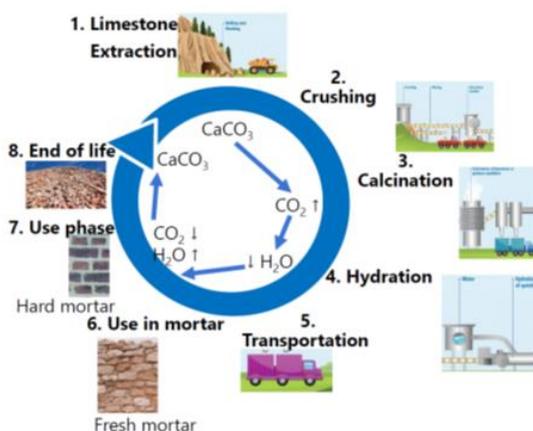
La flottazione con schiuma è una tecnica che sfrutta le diverse proprietà superficiali dei materiali per separare le particelle metalliche dalla ganga, che costituisce il residuo sterile del processo di arricchimento del minerale. Il meccanismo alla base della tecnologia prevede l'adesione delle particelle idrofobiche, contenenti i metalli, alle bolle d'aria e il successivo intrappolamento all'interno di una schiuma galleggiante ricca di concentrato metallico. Tuttavia, le tecniche di flottazione convenzionali risultano poco efficaci nel separare particelle fini ($-20 \mu\text{m}$). Il progetto europeo FineFuture del programma Horizon 2020 (grant N. 821265) si propone di sviluppare soluzioni innovative per superare il gap tecnologico attuale, coinvolgendo 16 partner internazionali del mondo industriale, accademico e di ricerca. Il Politecnico di Milano, con il gruppo di ricerca AWARE, è coordinatore del Work Package dedicato alla valutazione della sostenibilità ambientale, economica e sociale della nuova tecnologia. L'analisi ambientale, tutt'ora in corso, prevede l'applicazione della Life Cycle Assessment (LCA) a diversi casi studio, rappresentativi delle possibili future implementazioni della tecnologia nel processo di arricchimento di diversi metalli (rame, magnesite e manganese) da differenti fonti (minerali e sterili della produzione). Parallelamente, l'analisi sociale (S-LCA) si propone di analizzare diversi temi sociali mediante la valutazione di diversi indicatori per ciascun stakeholder e l'attribuzione di un punteggio (Performance Reference Scale Impact Assessment) calcolato rispetto agli standard di riferimento.

Cecere G., Pantini S., Rigamonti L. 2021. *Life Cycle Assessment of Critical Raw Materials – an innovative flotation process*. SIDISA 2021



STUDIO SUL POTENZIALE DI CARBONATAZIONE DI PRODOTTI CONTENENTI CALCE

Questo studio, finanziato da EuLA (European Lime Association), nasce dalla volontà di valutare il potenziale di assorbimento della CO₂ atmosferica attraverso il processo di carbonatazione della calce, un materiale utilizzato nei più svariati campi di applicazione. Più specificatamente, tale processo è stato valutato nel settore dei materiali di costruzione, dell'ingegneria civile, del trattamento delle emissioni gassose, dell'industria chimica, dei processi metallurgici (ferrosi e non ferrosi), dei fanghi, dell'agricoltura, del carbonato di calcio precipitato. L'analisi ha richiesto, allo scopo di individuare l'effettivo potenziale di carbonatazione durante la vita dei prodotti, un'analisi dettagliata della letteratura scientifica attualmente disponibile, così da valutare in maniera più completa il reale impatto dell'industria della calce sul rilascio atmosferico di biossido di carbonio. I risultati dello studio saranno presentati in un articolo scientifico.

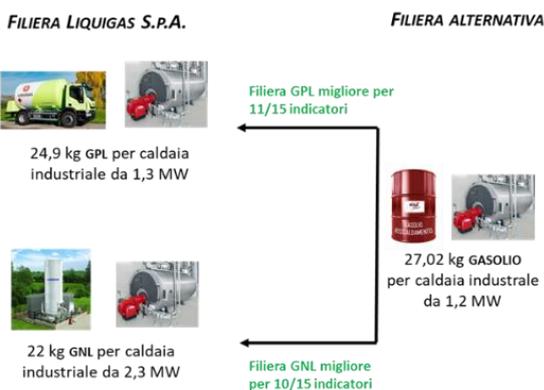


VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI DEL CICLO DI VITA DI DIVERSE TIPOLOGIE DI COMBUSTIBILI PER USO STAZIONARIO

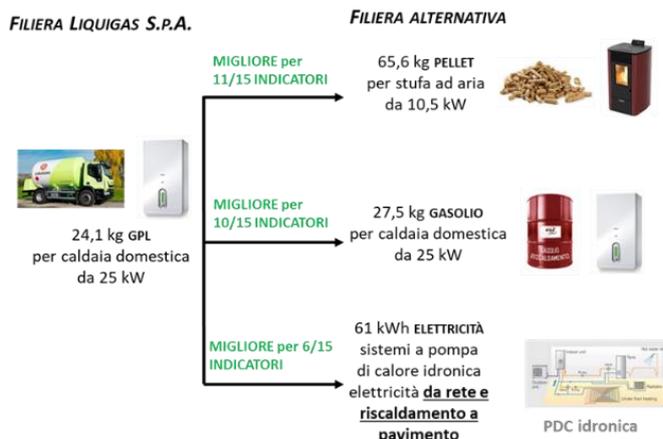
I processi di estrazione, lavorazione e distribuzione dei combustibili fossili e il loro successivo utilizzo per il riscaldamento degli ambienti o per utilizzi industriali sono causa di emissione di CO₂ e di altri impatti sull'ambiente. Per far fronte a tale problematica è necessario agire, ove possibile, sull'intera filiera del combustibile identificando mediante applicazione dell'analisi del ciclo di vita le fasi più critiche da un punto di vista ambientale. In tale contesto si inserisce la presente attività di ricerca che si è proposta di valutare gli impatti ambientali delle filiere di Liqueigas S.p.A. relative alla distribuzione di Gas di Petrolio Liquefatti (GPL) e di Gas Naturale Liquefatto (GNL) per combustione stazionaria nel settore domestico e industriale. L'obiettivo primario dello studio, concluso recentemente, è stato quello di individuare potenziali di miglioramento ambientale e quantificare eventuali benefici nei confronti di settori concorrenti. La valutazione è stata condotta separatamente per il settore residenziale, ove si è confrontato il ciclo di vita del GPL con l'uso alternativo di pellet, gasolio e pompe di calore elettriche, e il settore industriale in cui si è operato un confronto tra le filiere del GPL e del GNL e l'uso alternativo di gasolio nel contesto medio italiano. Per quanto concerne il settore residenziale, dai risultati ottenuti, emerge che la filiera GPL nelle attuali condizioni operative di Liqueigas S.p.A. offre prestazioni generalmente migliori rispetto al pellet (impatti minori in 11 su 15 indicatori) e al gasolio (impatti minori in 10 su 15 indicatori). Il confronto con la tecnologia a pompa di calore risulta invece significativamente influenzato dalla fonte di approvvigionamento dell'elettricità. In caso di prelievo da rete alle condizioni attuali (anno 2019), le prestazioni delle due filiere possono ritenersi mediamente confrontabili ma un incremento della quota di energia rinnovabile è invece destinato a rendere la filiera elettrica progressivamente più vantaggiosa.

I risultati ottenuti per l'ambito industriale mostrano vantaggi significativi per entrambe le filiere Liqueigas: impatti minori in 11 su 15 indicatori nel caso del GPL e in 10 su 15 indicatori per il GNL.

SETTORE INDUSTRIALE



SETTORE DOMESTICO



VALUTAZIONE DEI FLUSSI DI SCARTO NELLA GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI IN ITALIA

Per una corretta pianificazione della gestione dei rifiuti urbani e una valutazione dei fabbisogni impiantistici per recupero di energia e smaltimento occorre conoscere non solo la produzione di rifiuto urbano residuo, ma anche quantificare i flussi di scarto derivanti dai trattamenti delle raccolte differenziate. È stata quindi condotta un'analisi per stimare la produzione annuale di questi scarti in Italia.

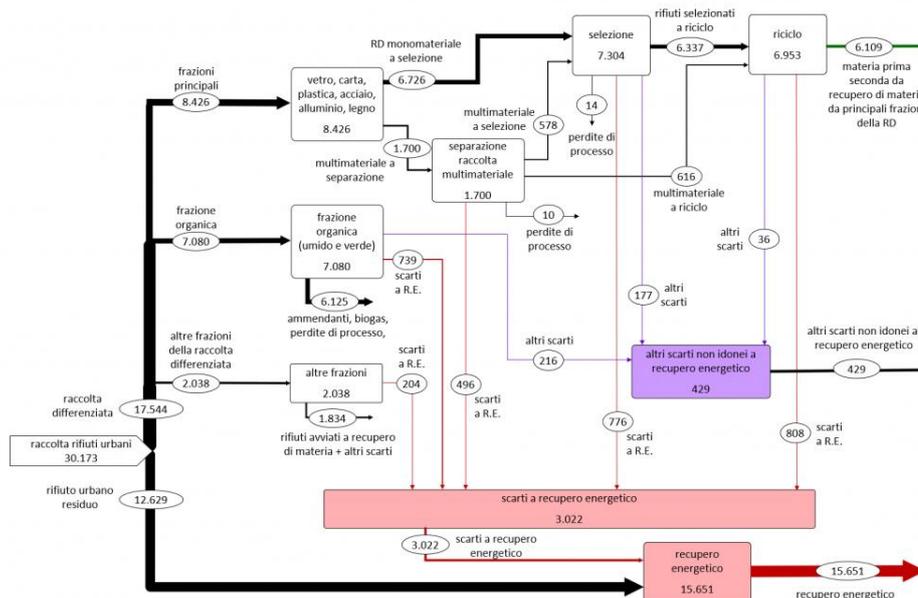
Sono stati utilizzati dati quanto più rappresentativi della situazione media nazionale e provenienti da

fonti pubbliche e ufficiali (principalmente: ISPRA, CONAI e i consorzi di filiera), riferiti al 2018.

Sono state analizzate le principali frazioni della raccolta differenziata: carta, plastica, alluminio e acciaio, vetro, legno e frazione organica (costituita da umido e verde). Per ciascuna frazione è stata calcolata la produzione di scarti distinguendo una fase di separazione della frazione multimateriale (quando è adottata questa modalità di raccolta), una di selezione e una di riciclo.

Dall'analisi è emerso che, a fronte di una produzione nazionale di rifiuti nel 2018 pari a 30,2 milioni di tonnellate e una raccolta differenziata del 58%, l'attuale gestione e trattamento dei rifiuti raccolti in modo differenziato genera circa 3,4 milioni di tonnellate di scarti, ossia il 20% del materiale raccolto per via differenziata.

Bellan M., Grosso M. 2020. "Valutazione dei flussi di scarto nella gestione dei rifiuti urbani in Italia". *Ingegneria dell'Ambiente*. Vol. 7 n. 3/2020

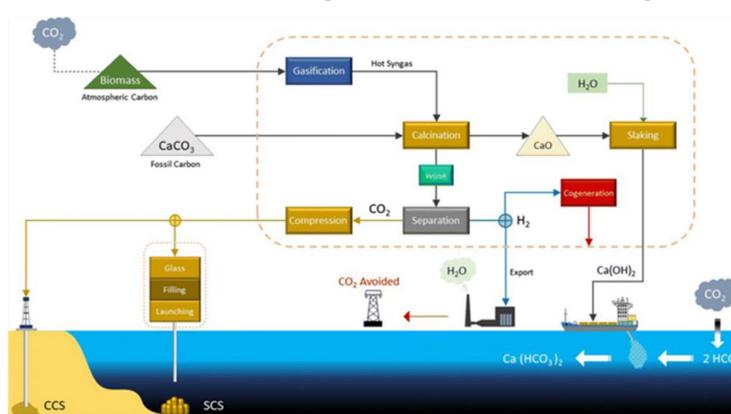


VALUTAZIONE AMBIENTALE DI TECNOLOGIE PER IL CONSEGUIMENTO DI EMISSIONI NEGATIVE DI CO₂

Al fine di rispettare gli ambiziosi obiettivi definiti nell'ambito dell'Accordo di Parigi, e limitare il riscaldamento globale, si rende necessaria una riduzione drastica delle emissioni di gas climalteranti nonché, la rimozione di CO₂ dall'atmosfera in quantità tanto più ingenti quanto più si ritarda nella riduzione delle emissioni. In tale contesto si inserisce il presente studio, nato dalla collaborazione con l'azienda CO₂App, con lo scopo di valutare i potenziali impatti ambientali di un processo per conseguire emissioni negative di CO₂, affrontando contemporaneamente il problema dell'acidificazione degli oceani. In particolare, il sistema analizzato prevede l'integrazione del processo di gassificazione di biomassa, e

produzione di calce idrata, che viene distribuita mediante navi nell'acqua di mare. Il principale sottoprodotto è costituito da idrogeno, utilizzato per produrre energia, e da CO₂ in eccesso che viene stoccata in condizioni di sicurezza. Tramite metodologia dell'analisi del ciclo di vita è stato stimato che potenzialmente la CO₂ atmosferica rimossa è 3,3 tonnellate per ciascuna tonnellata di biomassa utilizzata grazie anche al contributo delle emissioni evitate attraverso la produzione di idrogeno. Sono stati valutati anche i potenziali impatti ambientali in altre 15 categorie di impatto. Attualmente è oggetto di studio una configurazione alternativa del processo basata sulla calcinazione elettrica sfruttando energia solare.

Campo, F., Caserini, S., Pagano, D., Dolci, G., Grosso, M. (2020) "Analisi del ciclo di vita di un processo per rimuovere la CO₂ atmosferica e contrastare l'acidificazione del mare". *Ingegneria dell'Ambiente*, Vol. 7 n. 1/2020, 7-22.



MIGLIORAMENTO

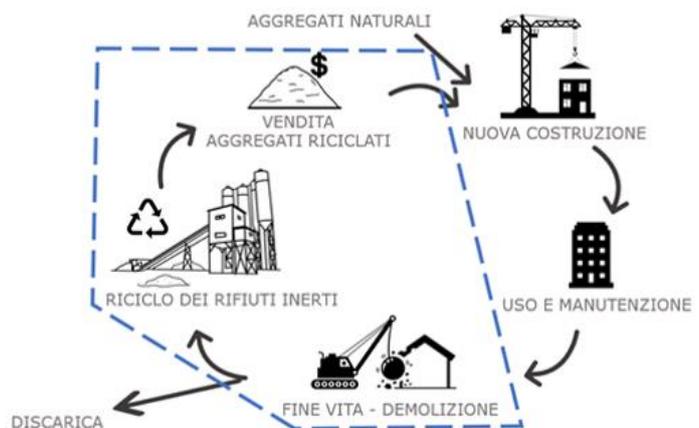
DELLA GESTIONE DEI RIFIUTI ATTRAVERSO PROGETTI DI COOPERAZIONE ALLO SVILUPPO

La ricerca scientifica gioca un ruolo importante nel perseguimento dei Sustainable Development Goals (SDGs), ed è per questo che diverse ONG stanno iniziando a coinvolgere il mondo della ricerca in progetti di cooperazione allo sviluppo. Il gruppo AWARE può contare su alcune esperienze pregresse in progetti volti alla sostenibilità ambientale, soprattutto sul tema della gestione dei rifiuti, come lo studio di fattibilità per la chiusura di un dumpsite a Ngong (Nairobi, Kenya) o la ricerca di strategie migliorative della gestione dei rifiuti nella favela di Rocinha (Rio de Janeiro, Brasile). In più, dal 2018 al 2020 siamo stati partner tecnici della ONG INTERSOS nel progetto “Gestione Integrata delle Risorse Naturali nell’Unione delle Municipalità di Tiro”, all’interno del quale abbiamo seguito diverse attività: dallo studio di una localizzazione appropriata per una discarica sanitaria all’ottimizzazione dei percorsi di raccolta dei rifiuti, passando per l’elaborazione di strategie di miglioramento della gestione di un impianto TMB. Da questo progetto sono scaturite una tesi di dottorato (Villa F., “Open Source GIS tools for local administrations: pursuing the economic sustainability of Solid Waste Management in low-income countries”) e una tesi di laurea magistrale (De Robertis A., “Analisi e proposte di miglioramento di un impianto di Trattamento Meccanico Biologico di rifiuti in Libano”). Al momento è in fase di valutazione il nostro coinvolgimento in altri progetti di cooperazione allo sviluppo.



CIRCOLARITÀ NELLA CATENA DI GESTIONE DEI RIFIUTI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE

In Italia, la maggior parte dei rifiuti derivanti dalle attività di demolizione e costruzione (C&D) è avviata a recupero ma nonostante le buone prestazioni in termini di tasso di riciclaggio, sono ancora molti gli ostacoli che impediscono l'uso diffuso delle risorse secondarie e quindi il raggiungimento dell'economia circolare. La sfiducia degli stakeholder, la difficoltà nell'ottenere aggregati di buona qualità e la scarsa competitività economica, portano gli operatori del settore a preferire gli aggregati naturali. Questo lavoro, svolto nell'ambito di una tesi di dottorato congiunta Politecnico di Milano, ENEA, Regione Lombardia, indaga i vantaggi dell'utilizzo di aggregati riciclati da un punto di vista economico, attraverso l'applicazione della metodologia Life Cycle Costing (LCC). L'analisi LCC valuta tutti i costi relativi all'intera filiera dei rifiuti C&D, dalla generazione di rifiuti inerti nei cantieri di demolizione alla produzione e vendita degli aggregati riciclati.



Nello studio viene posta particolare attenzione alla fase di demolizione e alla divisione dei flussi di rifiuto in uscita dal cantiere. Per ottenere aggregati di buona qualità bisogna che i rifiuti escano dal cantiere il più puri possibile e questo è possibile solo eseguendo una demolizione selettiva. Sono stati analizzati i dati forniti da diverse imprese di demolizione e impianti di riciclo e il risultato dello studio è il costo totale di gestione del rifiuto C&D per metro cubo demolito. Sulla base dei risultati ottenuti è stato possibile formulare idee d’incentivazione a beneficio della demolizione selettiva e dell'utilizzo di aggregati riciclati. La seconda fase del progetto, ancora in definizione, prevede l’integrazione della metodologia LCC negli appalti pubblici relativi al settore edilizio.