



**POLITECNICO  
MILANO 1863**

DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

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

ed. febbraio 2023

www.aware.polimi.it

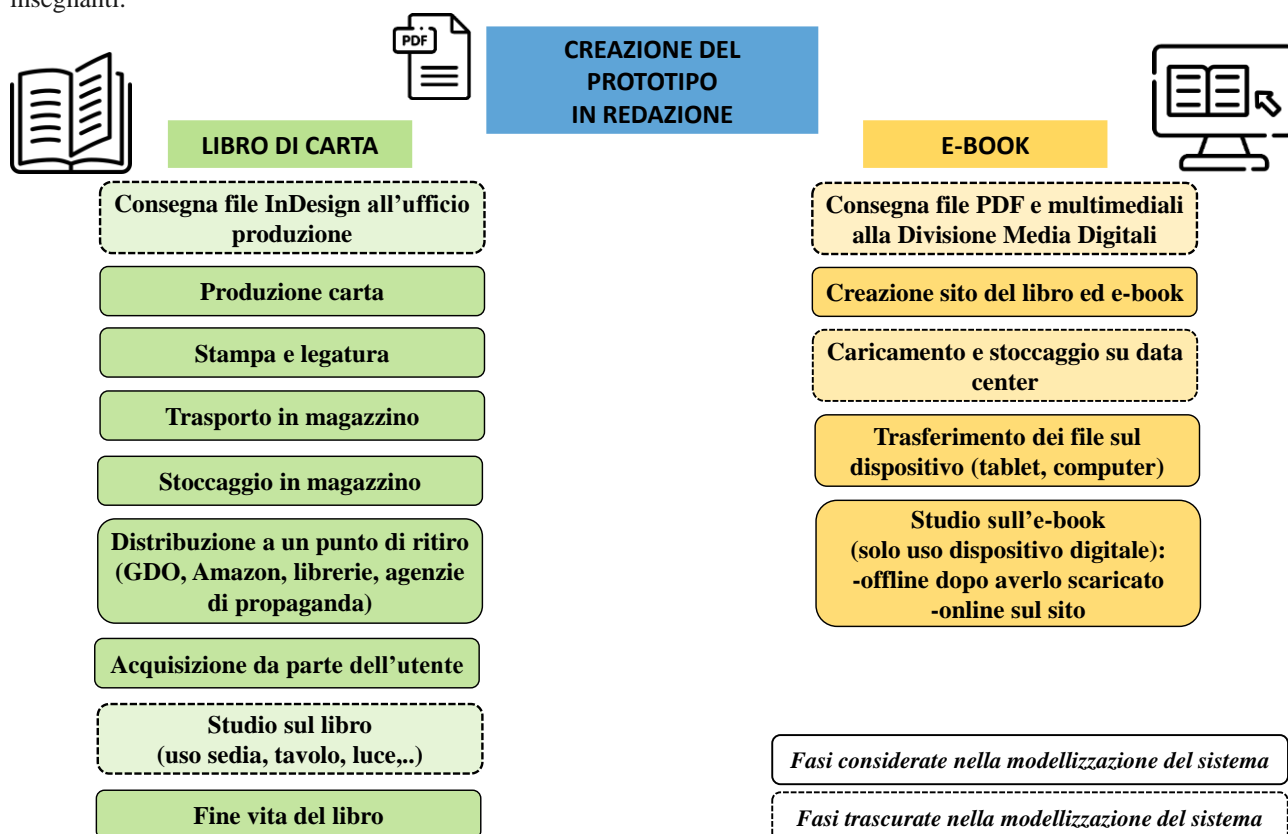
**Responsabili scientifici:** Mario Grosso e Lucia Rigamonti

**Gruppo di lavoro:** Samuele Abagnato, Andrea Amadei, Gaia Brussa, Francesco Campo, Giulia Cavenago, Giuseppe Cecere, Sofia de Giorgi, Giovanni Dolci, Floriana Fava, Elena Lovat, Stefano Puricelli, Camilla Tua, Francesca Villa



## EDITORIA SCOLASTICA E IMPATTI AMBIENTALI

Il gruppo editoriale Zanichelli si è attivato con AWARE per svolgere una valutazione degli impatti ambientali associati all'intera filiera produttiva, distributiva e d'uso del proprio prodotto scolastico (libro misto di tipo b comprensivo di copia cartacea ed ebook), con lo scopo di rafforzare la propria presa di coscienza sull'impronta ecologica aziendale e di diffondere, al contempo, la consapevolezza dei carichi ambientali di un libro scolastico anche tra gli studenti e gli insegnanti.



*Confini del sistema per la filiera produttiva, distributiva e d'uso del libro ministeriale di tipo b del gruppo editoriale Zanichelli.*

In seguito a tale analisi, volendo capire come meglio agire per ridurre maggiormente la propria impronta carbonica, Zanichelli Editore S.p.A. ha commissionato sempre ad AWARE uno studio di rendicontazione delle proprie emissioni GHG di Scope 1 e Scope 2 che è stato svolto in accordo con lo strumento del GHG protocol ideato nel 1998 dalla collaborazione tra il World Resources Institute (WRI) e il World Business Council For Sustainable Development (WBCSD).

Tua C., Cavenago G., Grosso M., Rigamonti L., 2022. [Editoria scolastica e impatti ambientali: analisi del caso Zanichelli tramite la metodologia LCA](#). *Ingegneria dell'Ambiente*. Vol. 9 n. 2/2022.

## STUDIO LCA SULLA COMBUSTIONE DEI FANGHI DI DEPURAZIONE

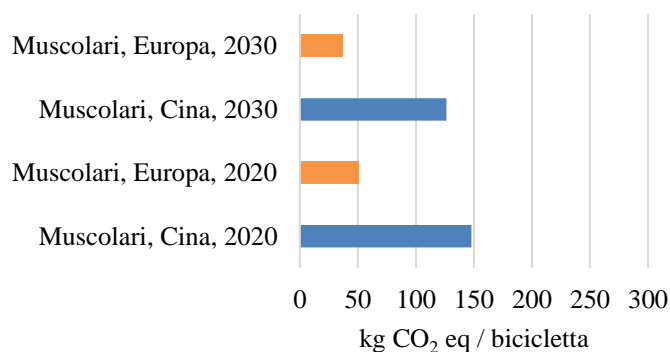
Il gruppo di ricerca AWARE ha recentemente completato uno studio LCA all'interno del progetto "Forme Avanzate di Gestione dei fanghi di depurazione in un Hub Innovativo lombardo (FANGHI)" co-finanziato da Regione Lombardia e dal Fondo europeo di sviluppo regionale. Fra gli obiettivi del progetto vi era quello di misurare la sostenibilità ambientale di alcune tecnologie di valorizzazione dei fanghi di depurazione, attività che è stata commissionata al gruppo di ricerca AWARE da parte di MM S.p.A.. Tramite la metodologia LCA sono state analizzate quattro alternative di trattamento dei fanghi di depurazione in Lombardia: 1) co-combustione di fanghi essiccati e fanghi disidratati con Combustibile Solido Secondario (CSS); 2) mono-combustione di fanghi disidratati; 3) mono-combustione di una miscela di fanghi essiccati e fanghi disidratati; 4) mono-combustione di una miscela di fanghi derivanti da carbonizzazione idrotermica (HTC – HydroThermal Carbonization) e fanghi disidratati. Lo studio ha beneficiato della disponibilità di dati primari derivanti dai test avvenuti nel termovalorizzatore di Corteolona (A2A S.p.A.) e nel forno sperimentale a letto fluido installato nel depuratore di Milano "San Rocco" (MM S.p.A.). L'inventario dello studio è stato elaborato in stretta collaborazione con il Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza (LEAP). Infine, l'Istituto di ricerche farmacologiche Mario Negri ha fornito estese analisi dei microinquinanti presenti nei fumi di combustione.



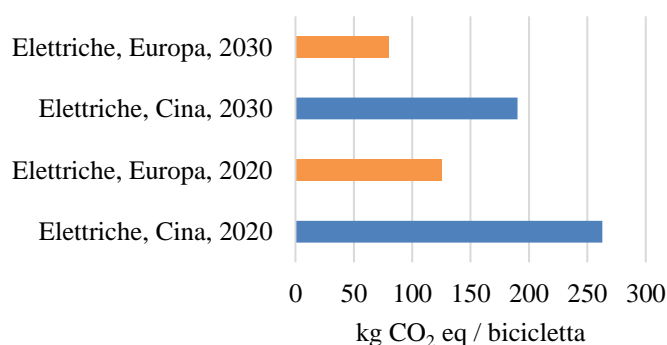
## VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI DELLA PRODUZIONE DI BICICLETTE IN CINA E IN EUROPA

L'analisi del ciclo di vita svolta, finanziata dalla European Bicycle Manufacturers Association, rappresenta un confronto tra i potenziali impatti ambientali della produzione cinese ed europea di biciclette destinate al mercato europeo, con particolare riferimento alla categoria di impatto del cambiamento climatico. L'analisi comparativa è stata effettuata considerando come unità di riferimento una bicicletta ed è stata svolta sia per le biciclette muscolari che elettriche. In dettaglio, sono state considerate le diverse componenti di una bicicletta muscolare "media" (telaio, forcella, ruote, freni, pedali, manubrio, sella e trasmissione) e di una bicicletta elettrica "media" che, in aggiunta, presenta batteria e motore. È stata inoltre inclusa nell'analisi la fase di assemblaggio delle componenti e il trasporto in Europa della bicicletta prodotta in Cina. È stato considerato innanzitutto lo scenario attuale (2020) in termini di materiali delle componenti e di mix elettrico; in aggiunta, è stato costruito uno scenario rappresentativo della situazione attesa per l'anno 2030. Le caratteristiche medie delle biciclette, in termini di componenti e relative masse, sono state ricostruite considerando alcuni modelli disponibili, sulla base dei dati reperiti presso i produttori di biciclette europei. Dove possibile sono stati considerati dati primari per le due differenti aree geografiche; il database *ecoinvent* è stato quindi utilizzato in supporto all'analisi. Considerando la situazione attuale (2020), la produzione europea di una bicicletta muscolare comporta un impatto potenziale per la categoria cambiamento climatico del 66% inferiore rispetto al corrispondente processo produttivo cinese. La riduzione è invece del 52% nel caso si consideri una bicicletta elettrica. Al 2030 si prevede invece una riduzione generale dei potenziali impatti, ma con differenze molto simili al 2020 nel confronto tra i due contesti geografici esaminati (-70% e -58% rispettivamente per la bicicletta muscolare ed elettrica).

Cambiamento climatico



Cambiamento climatico



## ANALISI SPERIMENTALE SULLA DEGRADAZIONE IN CONDIZIONI AEROBICHE E ANAEROBICHE DI VASCHETTE A BASE CARTA PER IL CIBO D'ASPORTO

Negli ultimi anni e successivamente alla recente crisi pandemica, gli imballaggi legati al cibo d'asporto hanno registrato una forte crescita. L'attività di ricerca, commissionata dal Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo degli Imballaggi a base Cellulosica (Comieco) si propone di valutare l'effettiva compatibilità di quattro vaschette compostabili a base carta, utilizzate per il cibo d'asporto, con i processi biologici a cui è sottoposto il rifiuto organico. Il fatto che un materiale sia certificato come compostabile per mezzo della norma UNI EN 13432:2002 non implica infatti che possa essere, in ogni condizione e situazione, avviato a trattamento con il rifiuto organico. In particolare, sono state esaminate quattro tipologie di vaschette: due realizzate in sola carta, una in carta con accoppiato un film in acido polilattico (PLA) e una in carta sottoposta a trattamento barriera. Sono state svolte prove di compostaggio per analizzare il livello di disintegrazione in condizioni aerobiche (in accordo con la norma 14045:2003), prove di biometanazione (BMP) e prove di co-digestione con il rifiuto alimentare in condizioni di alimentazione semi-continua per valutare la degradazione anaerobica. I risultati dello studio sono coerenti con le caratteristiche delle vaschette analizzate. I migliori risultati sono stati ottenuti per le vaschette in sola carta, materiale altamente compatibile con i processi biologici. La presenza di bioplastica o trattamenti barriera risulta invece potenzialmente più critica in tali processi. In merito alla vaschetta con film in PLA, la più lenta disintegrazione nel processo di compostaggio, la minore degradabilità nelle prove di BMP e la presenza di residui non digeriti nelle prove in semi-continuo sono ragionevolmente associate alla presenza del film in PLA. Analogamente, è il trattamento barriera la potenziale causa della più lenta disintegrazione nel processo di compostaggio della vaschetta caratterizzata da questa caratteristica.

*Fava F., Dolci G., Venturelli V., Grosso M., 2023. Analisi sperimentale sulla disintegrazione in prove di compostaggio di vaschette a base carta per il cibo d'asporto. In pubblicazione sulla rivista Ingegneria dell'Ambiente.*



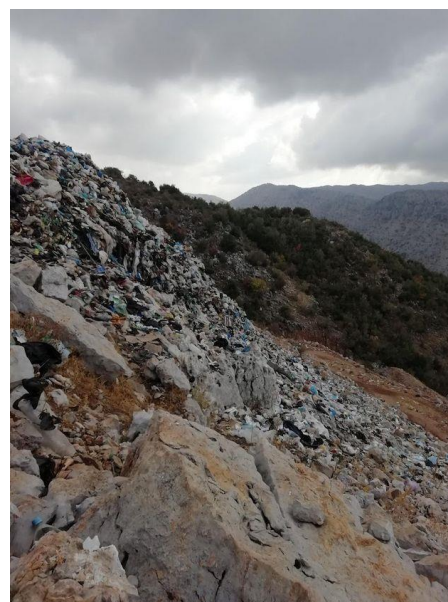
*Pezzi di vaschetta in carta con trattamento barriera (sopra) e sola carta (sotto) introdotti nel compostaggio (sinistra) e dopo un mese di trattamento (destra).*



*Pezzi di vaschetta in carta con film in PLA sottoposti a digestione anaerobica (sinistra) e residui non digeriti (destra).*

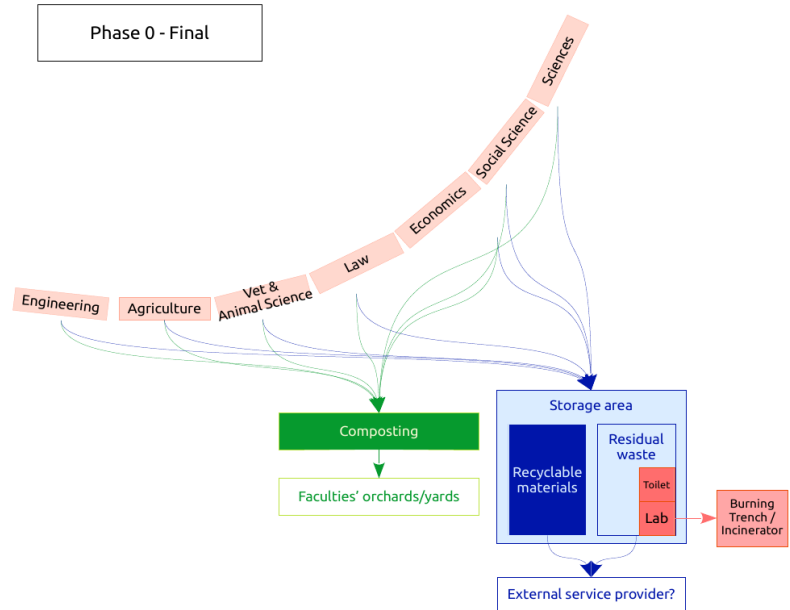
## UN SISTEMA DI GESTIONE DEI RIFIUTI INTEGRATO IN LIBANO

La gestione dei rifiuti è un tema ad oggi ancora problematico nei contesti a basso e medio reddito, dove spesso il servizio si limita alla sola raccolta, mentre il trattamento e lo smaltimento sono condotti in maniera impropria. Alla situazione del Libano, già critica, non ha giovato il sovrapporsi della crisi pandemica alla crisi politico-economica. In questo contesto ad agosto 2022 è partito il progetto "RIFIUTO o RISORSA? - Responsabilità ambientale e sociale di municipalità e imprese", della durata prevista di 3 anni, finanziato da AICS (AID\_12590/01/08) e promosso da CELIM insieme a Cesvi e Oxfam Italia, Oxfam GB, Ingegneria senza Frontiere Milano e Politecnico di Milano, e le Municipalità di Hasbaya e Chebaa, come partner locali. Il progetto ha l'obiettivo generale di contribuire a ridurre l'impatto negativo su salute e ambiente dato dall'inquinamento e dalla contaminazione di aria, suolo e acqua in Libano, in conformità con l'OSS 3.9. Si prevede di avere tale impatto, sviluppando in 3 anni modelli di responsabilità ambientale e sociale con particolare riferimento alla gestione dei rifiuti solidi urbani nel Governatorato di Nabathiyeh e del Sud per 12 municipalità e 20 MPMI e un totale di 42056 beneficiari diretti (obiettivo specifico). Il nostro gruppo di ricerca è coinvolto direttamente come partner tecnico, per supervisionare l'introduzione di un sistema di gestione di raccolta differenziata a Hasbaya e Chebaa (risultato R1), e progettare e curare la realizzazione di due impianti per il compostaggio e la separazione dei riciclabili in ognuna delle due cittadine (risultato R2).



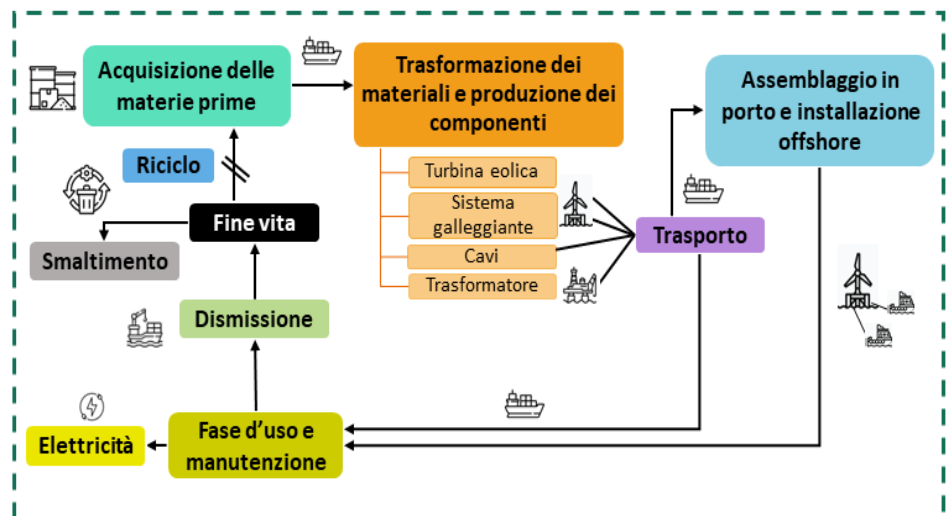
## PROPOSTA DI UN PIANO DI GESTIONE DEI RIFIUTI PER IL CAMPUS DI MOGADISCIO

Il progetto “Infrastructural and strategic strengthening of the Somali National University - UNS 4”, finanziato da AICS e coordinato dal Politecnico di Milano, ha l’obiettivo di progettare la ristrutturazione di ciò che rimane del Gahayr Campus di Mogadiscio, in Somalia, sede principale dell’Università Nazionale Somala. Il nostro contributo è stato indirizzato alla stesura di un piano di gestione dei rifiuti per il Campus, che dovrà ospitare oltre 20000 studenti in futuro, e che attualmente conta poco più di 3000 studenti (più il personale docente e amministrativo). La ricerca ha affrontato l’analisi del contesto, restringendo il campo di studio dall’intera Somalia alla città di Mogadiscio, discutendo l’attuale situazione della gestione dei rifiuti, i progetti passati e gli attori coinvolti. Si è quindi passati al dimensionamento, in base a stime di letteratura per la quantità di rifiuti attesa e alla composizione del rifiuto stesso. Sono state elaborate proposte di intervento, tenendo in considerazione gli aspetti tecnologici, la fase di intervento (es. raccolta, immagazzinamento, trattamento, smaltimento), il posizionamento degli interventi infrastrutturali all’interno del Campus. Si è discussa infine l’integrazione col contesto.



## VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEL CICLO DI VITA DI UN PARCO EOLICO OFFSHORE

La decarbonizzazione del settore elettrico richiede un’attenta analisi delle soluzioni tecnologiche disponibili, per valutarne la reale sostenibilità ambientale in ottica di ciclo di vita. Nello specifico, è stato svolto uno studio LCA per valutare i potenziali impatti ambientali associati all’intero ciclo di vita di un impianto eolico offshore galleggiante, la cui realizzazione al largo della Sicilia è attualmente in fase di autorizzazione. Si tratta



dell’installazione di 190 turbine di grande taglia (15 MW) su strutture galleggianti, che rispecchiano i recenti sviluppi del settore e le attuali tendenze di mercato. Nell’analisi sono state incluse le fasi di approvvigionamento dei materiali, trasporto dei componenti, assemblaggio e installazione con imbarcazioni specializzate, manutenzione durante la fase operativa, smontaggio e fine vita. L’analisi non è stata, quindi, limitata alla turbina eolica decontestualizzata, ma sono stati inclusi gli altri componenti necessari alla realizzazione di un parco eolico in mare, con particolare attenzione per il sistema elettrico necessario per la trasmissione dell’energia prodotta, al fine di valutare quanto la complessità del sistema da implementare per installazioni lontane dalla costa, contribuisca ad aumentare gli impatti complessivi dell’impianto. Dai risultati si evince che gli impatti ambientali del parco eolico offshore con turbine galleggianti sono principalmente associati alla fase di approvvigionamento dei materiali per la turbina eolica e la struttura galleggiante, e in particolare alla produzione di acciaio, di cui sono richieste grandi quantità. Ciononostante, i risultati degli indici di *payback* dimostrano che gli investimenti in termini di emissioni di gas a effetto serra ed energia verrebbero ripagati velocemente (2-3 anni) dall’evitata generazione di energia da fonti fossili.

Brussa G., Grosso M., Rigamonti L., 2022. *Valutazione del ciclo di vita di un impianto eolico offshore galleggiante: un caso studio italiano. Ingegneria dell’Ambiente*. Vol. 9 n. 3/2022.

## ANALISI DI SOSTENIBILITÀ DI UNA TECNOLOGIA INNOVATIVA DI FLOTTAZIONE

La flottazione con schiuma (*froth flotation*) è una tecnica che sfrutta le diverse proprietà superficiali dei materiali per separare le particelle metalliche dal materiale di scarto uscente dal processo di arricchimento del minerale. Il progetto europeo [FineFuture](#) del programma Horizon 2020 si è posto l'obiettivo di sviluppare soluzioni innovative per superare il gap tecnologico attuale, coinvolgendo 16 partner internazionali del mondo industriale, accademico e della ricerca. Il Politecnico di Milano, con il gruppo di ricerca AWARE, è stato coordinatore del *work package* dedicato alla valutazione della sostenibilità ambientale, economica e sociale della nuova tecnologia. L'analisi degli impatti ambientali della tecnologia FineFuture ha previsto l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA) a casi rappresentativi delle possibili future implementazioni della tecnologia. Parallelamente, il gruppo AWARE ha condotto un'analisi degli hotspot sociali riguardo i potenziali impatti connessi ai differenti settori industriali in cui la tecnologia FineFuture verrà inserita. La Material Flow Cost Accounting (MFCA) è stata applicata per valutare i potenziali impatti economici della tecnologia all'interno della catena di produzione. La possibilità di applicare metodologie di Life Cycle Thinking alla tecnologia in via di sviluppo ha consentito di individuare potenzialità e debolezze della futura implementazione, fornendo spunti validi per direzionare la ricerca verso approcci e strategie in linea con gli obiettivi di sviluppo sostenibile.



Eltohamy H., Cecere G., Rigamonti L., 2022. [Scoping the life cycle assessment of Fine Future flotation technology-towards more sustainable mining](#). *Procedia CIRP*, Vol. 105, 422-427.

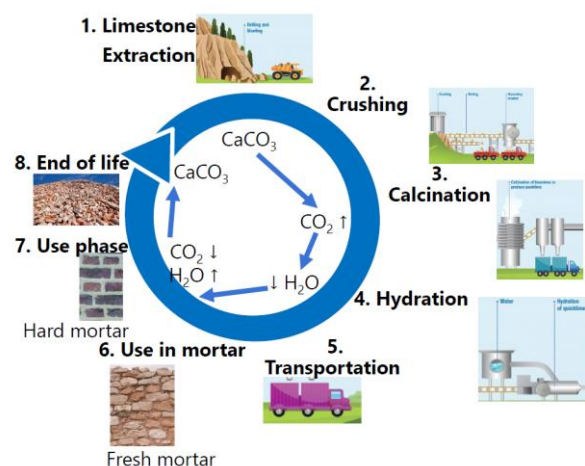
## PROCESSI PER LA RIMOZIONE DI CO<sub>2</sub> DALL'ATMOSFERA PER MEZZO DEGLI OCEANI

Al fine di limitare l'incremento delle temperature globali in rispetto degli obiettivi dell'Accordo di Parigi, gli scenari di emissioni globali di gas serra mostrano come sia necessario l'impiego di tecnologie per la rimozione di CO<sub>2</sub> atmosferica in aggiunta all'immediata e forte riduzione delle emissioni. A partire anche da questi risultati, tecnologie per la rimozione di CO<sub>2</sub> sono in via di ricerca e sviluppo considerando anche il contributo che gli oceani possono dare alla soluzione, benché subiscano già attualmente gli effetti come l'acidificazione degli oceani. La rivista scientifica *Frontiers in Climate* ha pubblicato un ebook sul tema di ricerca: il ruolo delle tecnologie ad emissioni negative basate sugli oceani per la mitigazione dei cambiamenti climatici. Nell'ebook sono raccolte le pubblicazioni che analizzano le tecnologie a emissioni negative applicate agli oceani, tra cui i due studi del progetto di ricerca [Desarc-Maresanus](#).

Caserini S., Pagano D., Campo F., Abbà A., De Marco S., Grosso M., 2021. *Potential of global maritime transport for ocean liming and CO<sub>2</sub> removal*. *Frontiers in Climate*, 3,575900.

## STUDIO SUL POTENZIALE DI CARBONATAZIONE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE CONTENENTI CALCE

La calce, un materiale utilizzato nei più svariati campi di applicazione, presenta un elevato potenziale di assorbimento di CO<sub>2</sub> atmosferica grazie al processo di carbonatazione. Durante la fase di utilizzo i materiali a base di calce riassorbono CO<sub>2</sub> compensando parzialmente quanto emesso durante la fase di produzione chiudendo così il cosiddetto ciclo della calce. È stata analizzata la letteratura scientifica riguardo il potenziale di carbonatazione della calce nei seguenti materiali da costruzione: malte aeree, malte cementizie e legante in base calce con frammenti di fusti di canapa che hanno un rateo di assorbimento di CO<sub>2</sub> tramite carbonatazione di 80-92%, 20-23% e 55% rispettivamente.



Campo F., Grosso M., 2022. *Lime Based Construction Materials as a Carbon Sink*. *Key Engineering Materials*, 922, 139-145.

## RIUSO DI CONTENITORI DI PLASTICA PER LA DISTRIBUZIONE DI POLICHINA E GESTIONE DEI RIFIUTI SANITARI IN UN QUARTIERE DI MAPUTO

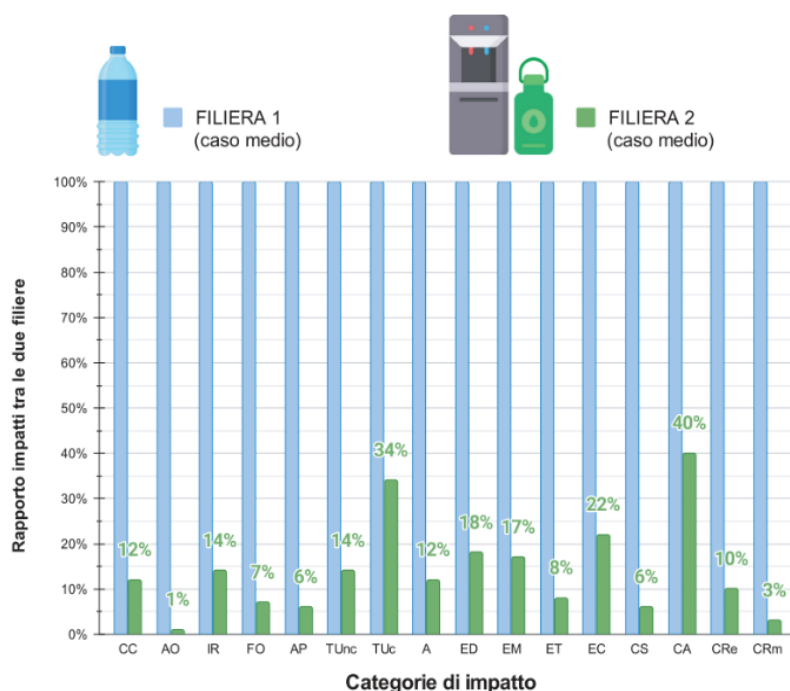
Il progetto HANDS - Health AND urban Space in Chamanculo - Maputo, Mozambico (Polisocial Award 2020 "Vulnerabilità e innovazione") si è posto l'obiettivo di introdurre in un quartiere informale una piccola unità di produzione di Polichina (disinfettante per mani) come strumento per mitigare il rischio sanitario. Intorno a questo laboratorio si è inteso progettare una serie di azioni più ampie, per esempio legate alla produzione energetica da rinnovabili e alla promozione di stili di vita più salubri. In questo contesto ci siamo occupati di due aspetti: la mitigazione della quantità di plastica immessa in circolo nel rispondere ad un'esigenza igienica, ovvero garantire la distribuzione di Polichina, e il trattamento dei rifiuti sanitari, che in assenza di misure alternative sono destinati alla discarica incontrollata e comportano un rischio per gli operatori sia formali che informali (i cosiddetti *waste pickers*) della raccolta. Da una parte si è quindi progettato un circuito di riuso dei contenitori, con una riduzione stimata nel quantitativo di nuova plastica da 29 t all'anno a 4 t all'anno nel caso dei contenitori da 100 ml, con gestione della logistica e lavaggio dei contenitori annessi. Dall'altra, si è teorizzata l'introduzione di un sistema di raccolta differenziata per i rifiuti generati dalla pandemia di COVID-19, con conseguente trattamento locale attraverso uno sterilizzatore a vapore con annessa trituratrice, in grado di gestire fino a 0,25 m<sup>3</sup> al giorno di rifiuto sanitario contaminato (generazione stimata su un bacino di 6500 abitanti). Su questo progetto sono state scritte due tesi: "Il COVID-19 e la gestione dei rifiuti sanitari in contesti a basso reddito: proposte per un quartiere informale di Maputo" (Sofia De Giorgi) e "Reducing the packaging waste generated by the improvement of handwashing accessibility in a slum of Maputo (Mozambique)" (Francesco Rossi).

*De Giorgi S., Grosso M., Villa F., 2023. Il COVID-19 e la gestione dei rifiuti sanitari in contesti a basso reddito: proposte per un quartiere informale di Maputo. Inviato per la pubblicazione alla rivista Ingegneria dell'Ambiente.*

## ACQUA DI RETE IN UNIVERSITÀ PER UN IMPATTO SOSTENIBILE

Nel 2022 si è concluso il Progetto BeviMI: Acqua del Sindaco e consumi responsabili, promosso dal Comitato Italiano Contratto Mondiale sull'Acqua (CICMA) e cofinanziato da Fondazione Cariplo nell'ambito del Bando Plastic Challenge 2020. Gli obiettivi del progetto sono stati: stimolare la fiducia nell'acqua di rete, promuovere la consapevolezza dell'impatto ambientale del consumo di acqua, ridurre i rifiuti generati dal consumo di acqua in bottiglia e promuovere il riciclo della plastica (PET, in particolare) nei campus universitari di Milano-Bicocca, Politecnico di Milano e Università degli Studi di Milano. Tra le azioni sviluppate dal Progetto BeviMI, c'è stata la realizzazione di una ricerca interuniversitaria coordinata da un Comitato scientifico per analizzare i comportamenti negli Atenei in relazione al consumo di acqua e alla gestione dei rifiuti in PET e confrontare, in termini di impatto ambientale, la filiera dell'acqua in bottiglie di PET con l'erogazione di acqua dalla rete, prelevata con una borraccia personale. Dall'indagine si è identificata una predisposizione da parte della comunità universitaria a bere acqua di rete (77%) piuttosto che acqua in bottiglia (23%), principalmente a causa della percezione della sostenibilità di questa azione. L'effettiva sostenibilità ambientale della scelta è stata confermata dai risultati della ricerca svolta utilizzando la metodologia LCA (Life Cycle Assessment). Adottando il metodo proposto dalla commissione europea (Environmental Footprint 3.0) sono state prese in considerazione 16 categorie di impatto che quantificano gli effetti delle filiere studiate sull'ambiente (8 categorie), sulla salute umana (4 categorie) e sull'esaurimento di risorse (4 categorie), con l'intento di includere il più ampio spettro di problematiche potenzialmente causate da ciascuna filiera. I risultati permettono di affermare che la scelta di bere acqua di rete erogata tramite casa dell'acqua e raccolta con una borraccia è ambientalmente più vantaggiosa per tutte le 16 categorie di impatto analizzate rispetto alla scelta di acquistare acqua in bottiglie di PET.

Sul sito di CICMA si può trovare il [manuale](#) sviluppato a conclusione del progetto con la sintesi dello studio e dei risultati e la [ricerca completa](#).



Confronto tra gli impatti delle due filiere per le 16 categorie analizzate.