

ISTITUTO  
DI MANAGEMENT



Scuola Superiore  
Sant'Anna



INTERDISCIPLINARY  
CENTER

Sant'Anna  
Scuola Universitaria Superiore Pisa

## Ex-ante Life Cycle Assessment della tecnologia Tech4Lib: analisi dei risultati preliminari e prospettive di sviluppo

*Federico Rossi\**, *Marta Fundoni\*\**, *Nicola Fabbri\*\**, *Filippo Corsini\**, *Monia Niero\**, *Fabio Iraldo\*\**

\* *Sant'Anna School of Advanced Studies, Interdisciplinary Center for Sustainability and Climate, via Santa Cecilia n.24, 56127 Pisa, Italy*

\*\* *Sant'Anna School of Advanced Studies, Institute of Management, Piazza Martiri della Libertà, n. 33, 56127 Pisa, Italy*

Brescia, 25/02/2025



# La black mass, prodotto intermedio



Black mass



Aluminum granule



Copper granule



Separator plastic



Steel



shell

[Recycle Black Mass from Spent Lithium Ion Batteries | New Battery Recycling Plant](#)



Steel shell



Separator plastic



Black mass



Aluminum granule



Copper granule



[Lithium Ion Battery Recycling - How to Separate the Black Mass](#)



# Life Cycle Assessment (LCA)

**LCA:** Metodologia per il calcolo dell'impronta ambientale di prodotti, **processi**, e servizi considerandone **l'intero ciclo di vita**.

**Ex-ante LCA:** Per confrontare tecnologie consolidate con tecnologie emergenti, è necessario valutare le prestazioni ambientali che queste ultime su scala industriale.

## 1. Definizione obiettivo e campo di applicazione:

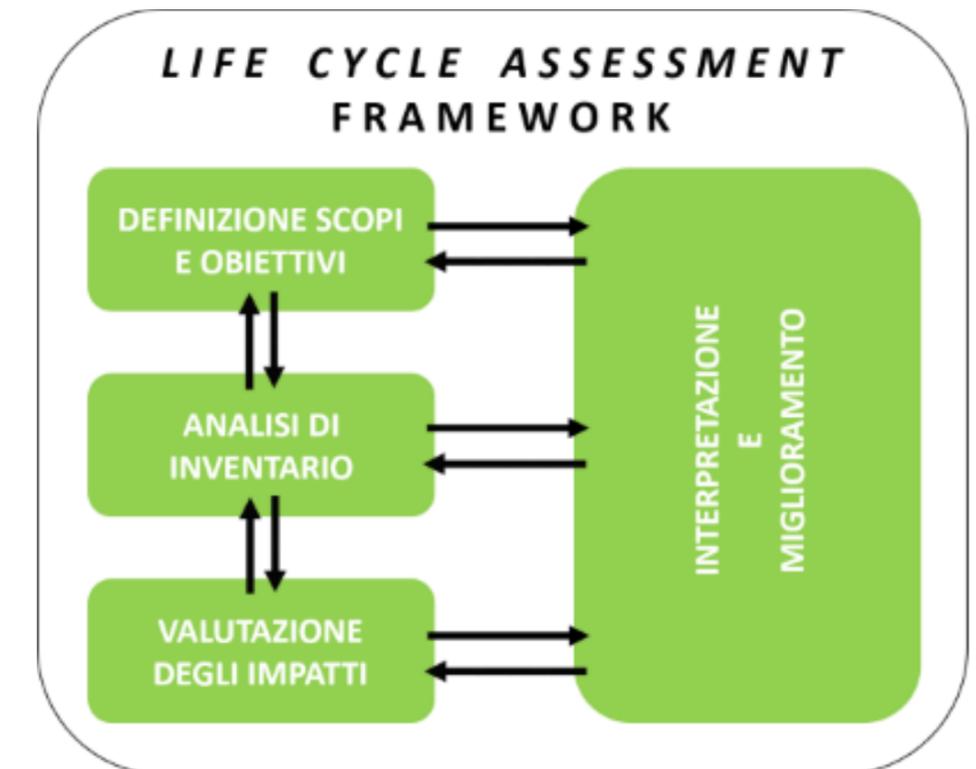
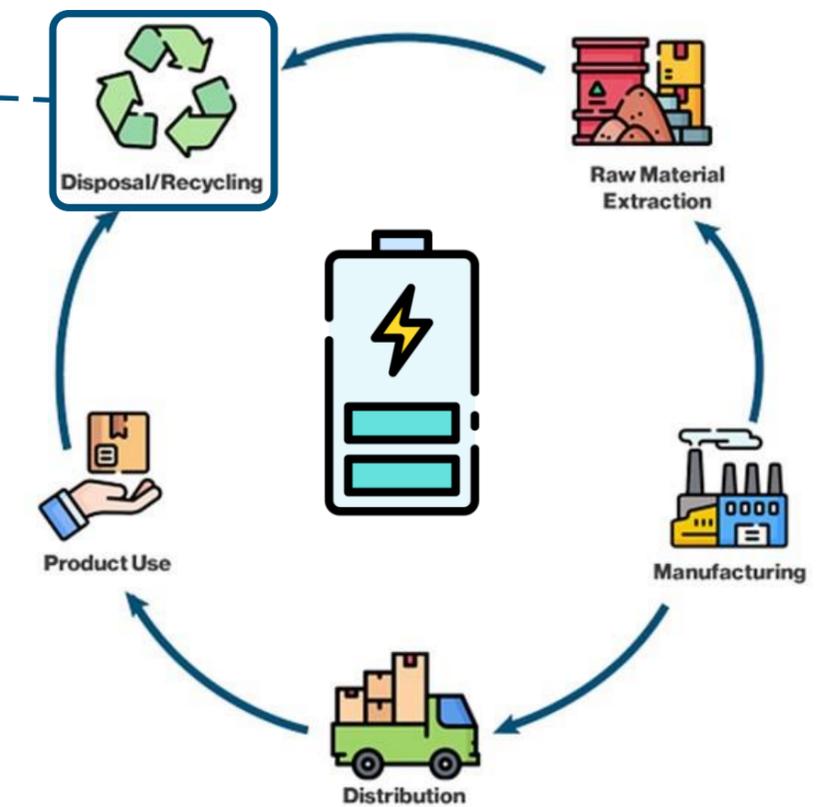
- Valutare da un punto di vista ambientale la potenziale competitività futura della tecnologia sviluppata in Tech4LIB.

## 2. Analisi di inventario

- Dati primari del processo di laboratorio
- Dati secondari da letteratura per modellare lo scale-up (Piccinno et al., 2016) e possibili tecnologie alternative (Mohr et al. 2020)
- Dati di background da ecoinvent 3.9.1.

## 3. Valutazione degli impatti

Metodo Environmental Footprint 3.1 (EF3.1), raccomandato dalla Commissione Europea. Basato su 16 categorie di impatto.



# Life Cycle Assessment (LCA)



## Confini del sistema:

Dal cancello alla tomba (from gate to cradle)

## Metodo di allocazione degli impatti:

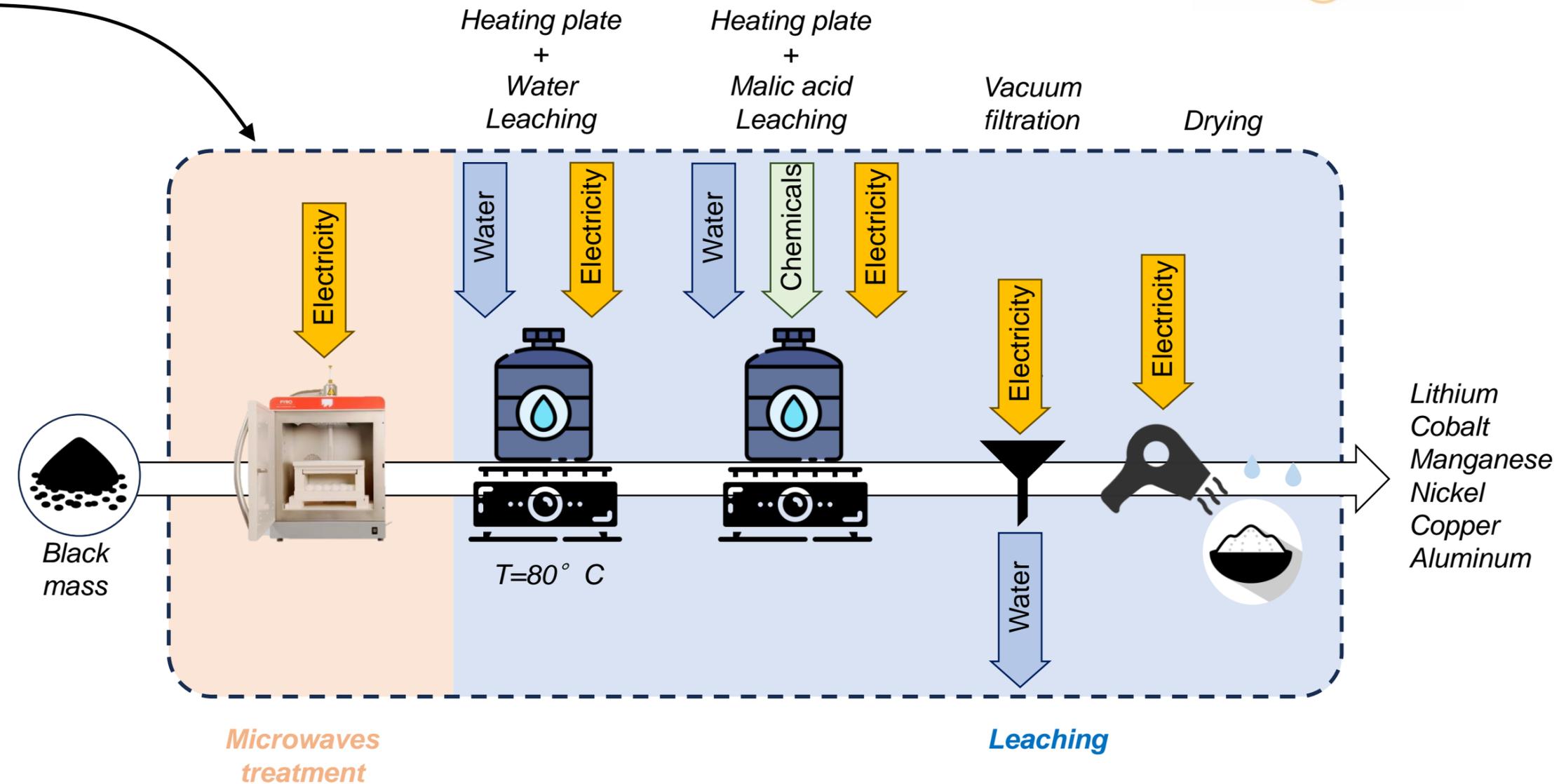
Cut-off: materie prime riciclate non hanno impatto sull'ambiente.

## Dati primari:

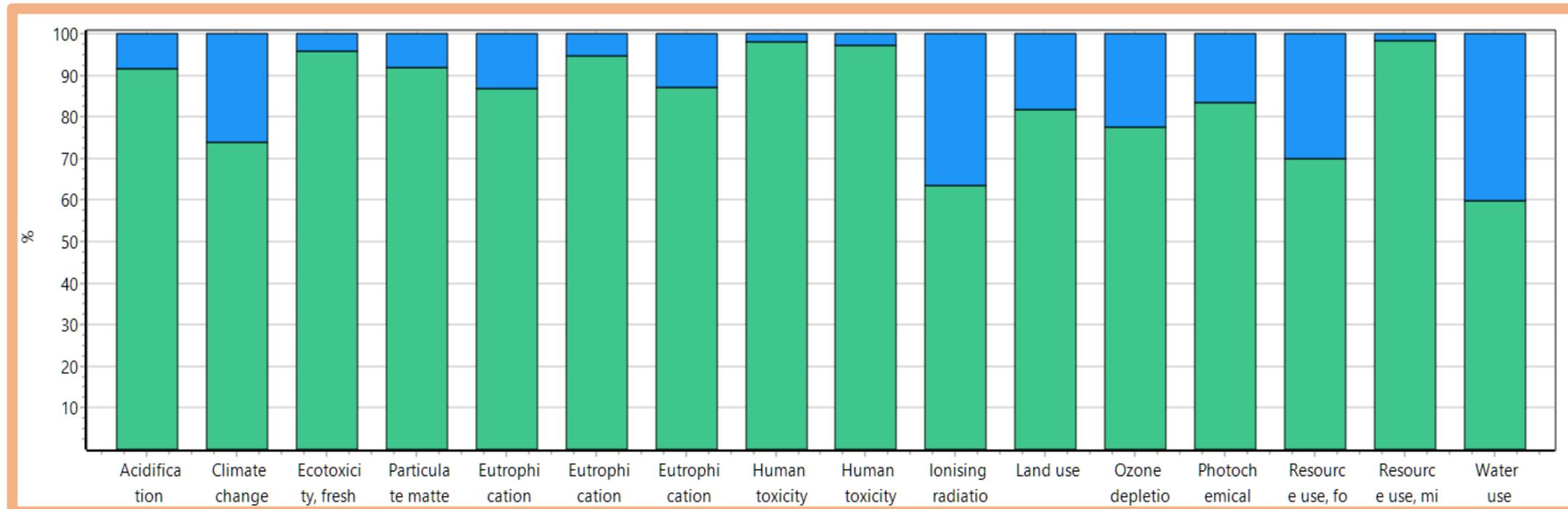
Potenza forno  
Materiali forno  
Materiale trattato (4.5 g)  
Rapporto solido/liquido  
Concentrazioni reagenti  
Consumi energetici strumenti

## Ipotesi:

In laboratorio sono effettuati circa 1000 test ogni anno.  
Acido malico prodotto da fonti primarie



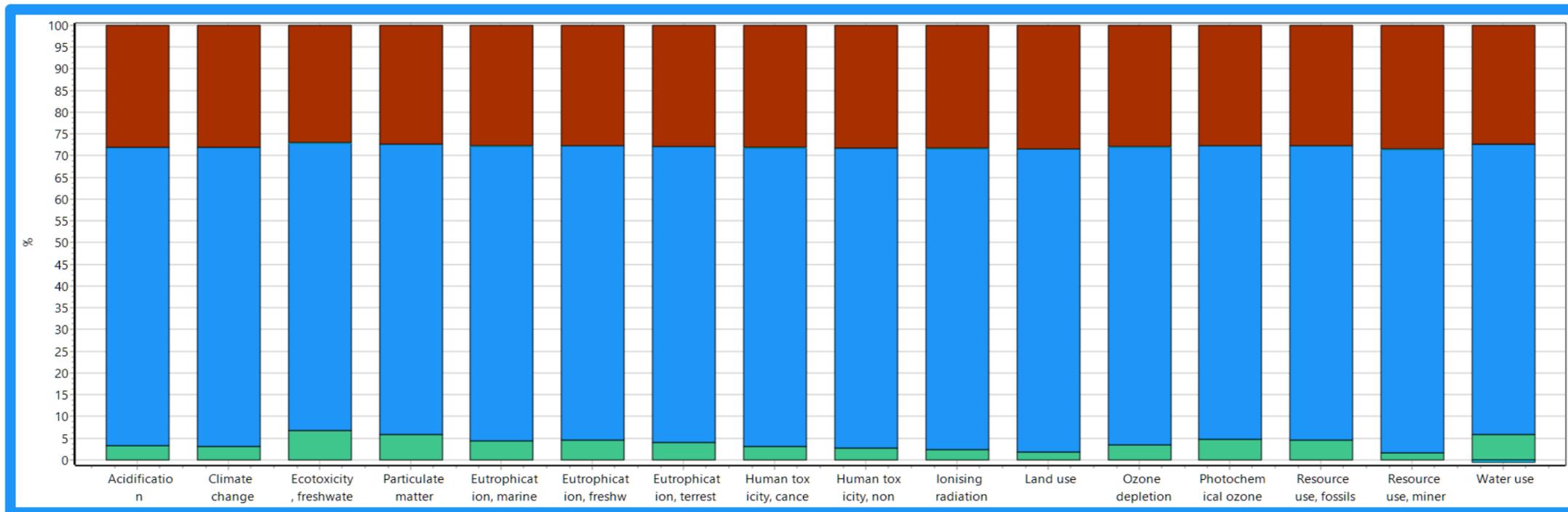
# Processo di laboratorio: risultati preliminari



*Microwaves treatment*



- Microwave equipment
- Electricity



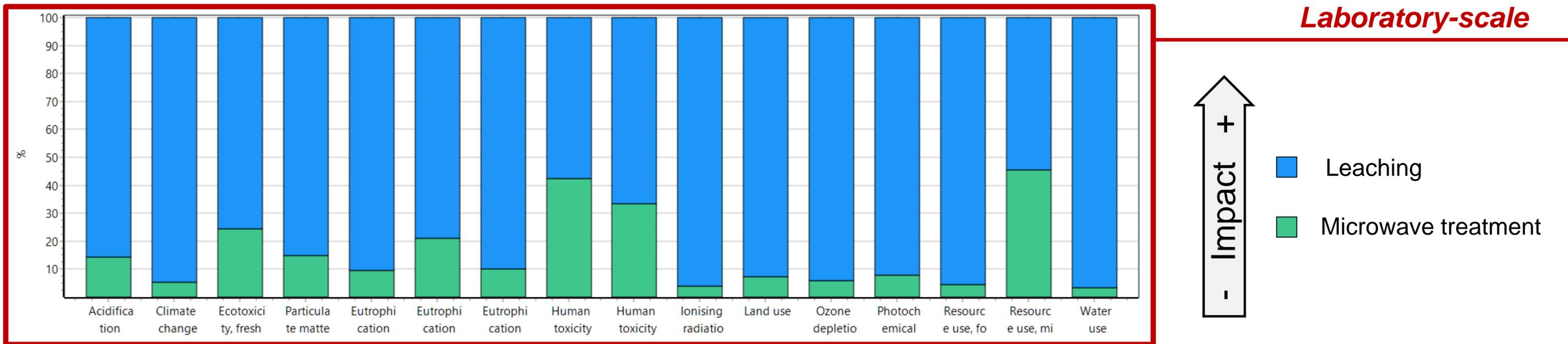
*Leaching*



- Heating plate
- Drying
- Malic acid leaching
- Vacuum filtration



# Processo di laboratorio: risultati preliminari



- Nel processo sviluppato in Tech4LIB, la fase di lisciviazione (*leaching*) risulta essere più impattante rispetto alla fase di trattamento termico a microonde (*microwave treatment*).
- L'impatto del processo di lisciviazione è da attribuire principalmente ai consumi energetici richiesti dalla piastra scaldante (*heating plate*) e di asciugatura del materiale filtrato (*drying*). L'acido malico ha un contributo trascurabile rispetto ai processi termici.
- L'impatto del trattamento a microonde (*microwave treatment*) è invece legato principalmente alla strumentazione (in particolare al forno stesso) piuttosto che ai consumi energetici del processo.



# Scale-up

## Microwaves treatment:

- Funzionamento forno **12 h/giorno** per **250 giorni/anno**.
- **Incremento output** da 4.5 g a 100 g.

$$Q_{react(1000\ l)} = \frac{C_p * m_{mix} * (T_r - 298.15\ K) + 3.303\ W/K * (T_r - 298.15\ K) * t}{0.75}$$

## Leaching:

- Aumento dei **volumi dei reattori a 1000 litri** (Piccinno et al., 2016); rapporto solido liquido mantenuto e concentrazioni reagenti mantenute invariate.
- **Scambi energetici ottimizzati** secondo leggi termodinamiche (Piccinno et al., 2016).
- **Recupero del calore** residuo dell'acqua reflua in uscita per ridurre i consumi energetici della *Heating plate e Drying* (Piccinno et al., 2016).
- Necessità di inserire sistemi di **pompaggio**, e di **miscelazione/omogenizzazione** nell'impianto che hanno un consumo energetico (Piccinno et al., 2016).
- Utilizzo acido malico da riciclo di sostanze organiche alimentari

$$Q_{dry} = \frac{C_{p,liq} * m_{liq} * (T_{boil} - T_0) + \Delta H_{vap} * m_{vap}}{\eta_{dry}}$$

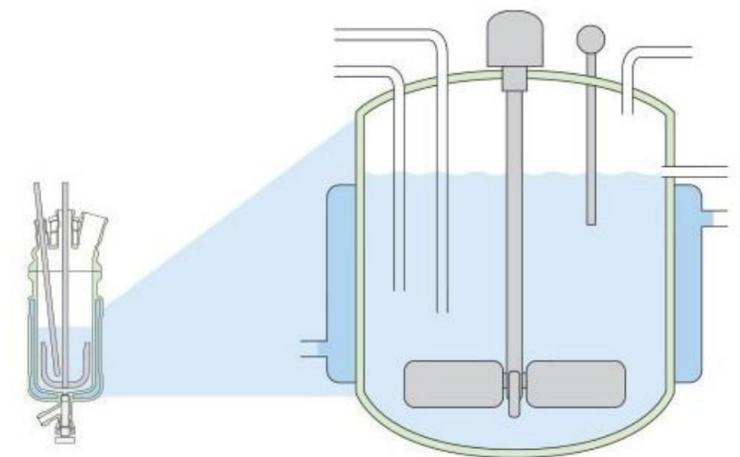
$$E_{stir(1000\ l)} = 0.0180\ m^5 s^{-3} * \rho_{mix} * t$$
$$E_{hom(1000\ l)} = 15.47\ m^5 s^{-3} * \rho_{mix} * t$$

## Ipotesi residue:

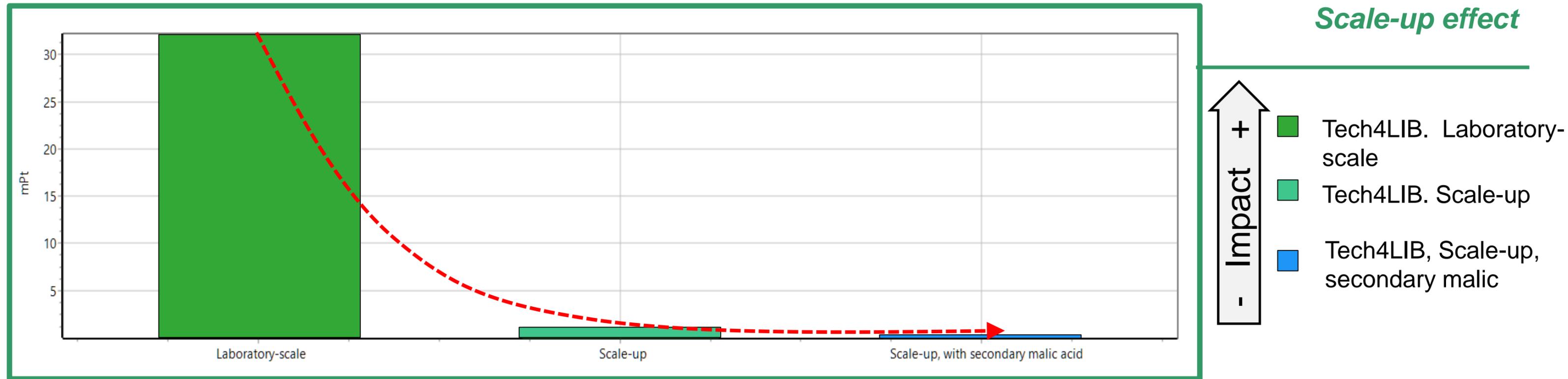
Umidità residua pre-asciugatura: 1%.

Acido malico da riciclo privo di impatti sull'ambiente.

Possibilità di preriscaldare l'acqua in ingresso fino a 60° C.



# Scale-up: risultati preliminari

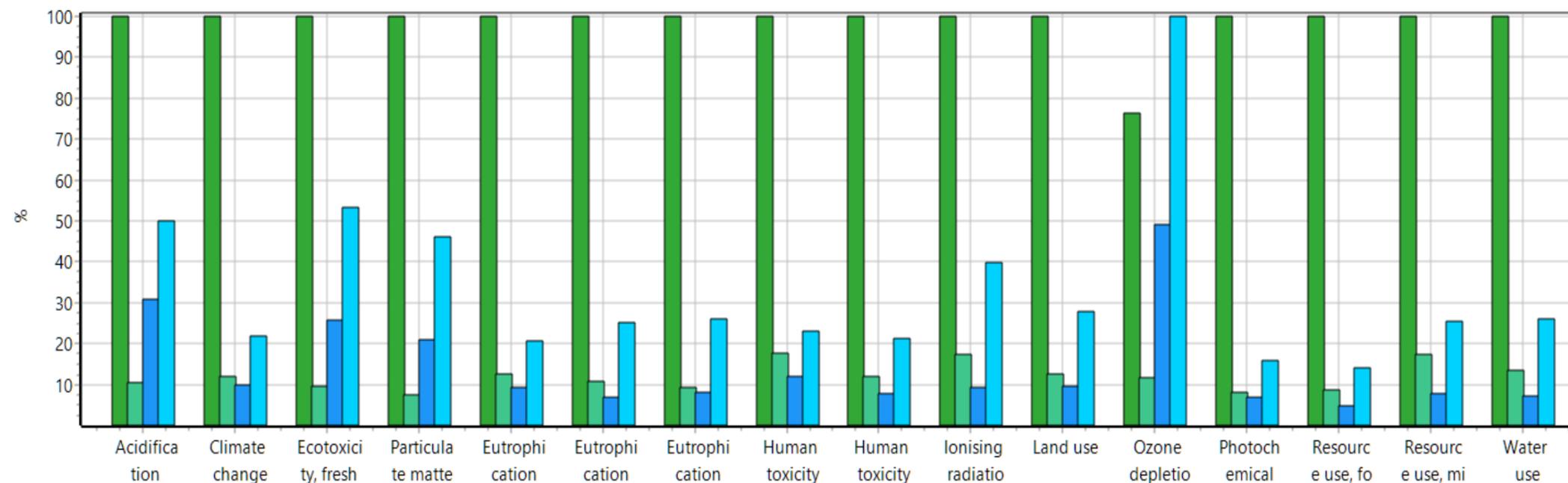


- Attraverso lo scale-up abbiamo esponenzialmente ridotto gli impatti dei principali hotspot ambientali individuati su scala di laboratorio, legati cioè alla strumentazione per il trattamento a microonde (*microwave treatment*) e ai processi termici coinvolti nel processo di leaching. Gli impatti residui sono principalmente quelli dell'acido malico.
- Utilizzare acido malico da scarti alimentari può potenzialmente ridurre ulteriormente gli impatti. **ATTENZIONE: gli impatti legati alla conversione degli scarti alimentari in acido malico non è ancora stata contabilizzata perché sono in corso le sperimentazioni.**

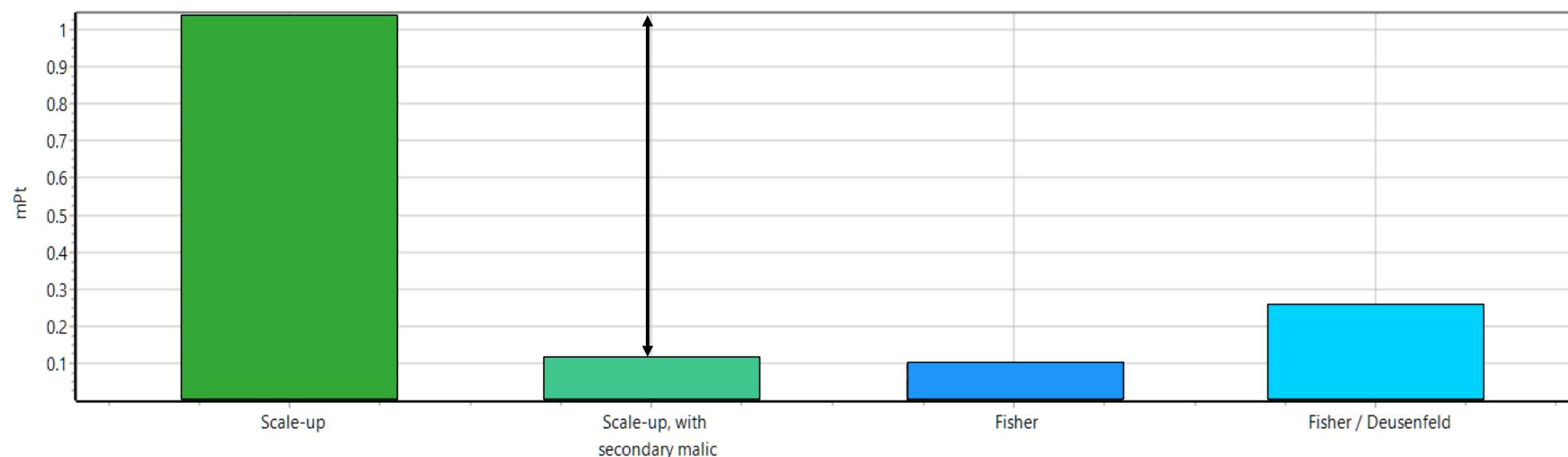


# Confronto con processi industriali: risultati preliminari

## Comparison



- Tech4LIB. Scale-up
- Tech4LIB, Scale-up, secondary malic
- Fisher (Mohr et al. 2020)
- Fisher / Deussenfeld (Mohr et al. 2020)



Il processo sviluppato in Tech4LIB viene confrontato con altri 2 processi industriali denominati di **Fisher** (idrometallurgico e pirometallurgico), e **Deussenfeld** (idrometallurgico) i cui dati di inventario sono disponibili in letteratura (Mohr et al., 2020)



# Prossimi passi



Includere gli impatti legati alla produzione di acido malico da recupero di scarti alimentari.



Valutare il processo di riciclo proposto da Tech4LIB nel ciclo di vita delle principali batterie agli ioni di litio (es. NCA, NCM, LFP).



Considerare l'efficienza di riciclo delle principali materie prime critiche contenute nelle batterie (es. litio, cobalto, manganese).



Aggiornamento continuo del modello LCA sulla base dei risultati delle sperimentazioni del progetto e di ulteriori scenari da prendere in considerazione (es. Utilizzo forno settore food con tramoggia e rullo).



Includere scenari di background con *PREMISE*.



# Grazie per l'attenzione



**Dr. Federico Rossi**

Centro Interdisciplinare per la sostenibilità e il  
Clima

Scuola Superiore Sant'Anna  
Via Santa Cecilia, 24  
56127 Pisa (Italy)

[federico2.rossi@santannapisa.it](mailto:federico2.rossi@santannapisa.it)



Scuola Superiore  
Sant'Anna



INTERDISCIPLINARY  
CENTER

Sant'Anna  
Scuola Universitaria Superiore Pisa

