



POLITECNICO
MILANO 1863

Giornata di studio

"Rifiuti e Life Cycle Thinking"

7^a edizione



Assessment on Waste
and Resources



UNIVERSITÀ
DI PISA

Riciclo della poliammide 6 da reti da pesca e fibre di carbonio per lo sviluppo sostenibile di nuovi materiali compositi: Life Cycle Assessment

Francesco Pasciucco^a, Damiano Rossi^b, Maurizia Seggiani^b, Isabella Pecorini^a

^a*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa*

^b*Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Università di Pisa*



**DESTEC - DEPARTMENT OF ENERGY, SYSTEM, TERRITORY AND CONSTRUCTION ENGINEERING -
UNIVERSITY OF PISA**



1. Introduzione

- Le materie plastiche sono ampiamente utilizzate per le loro proprietà vantaggiose ed efficienza in termini di costi.
- I settori dell'imballaggio e dell'edilizia consumano circa il 60% della produzione mondiale.
- Nel 2022, la domanda di la plastica in Europa è stata stimata in circa 57 milioni di tonnellate.
- Il registrato aumento dei tassi di produzione comporta rischi significativi soprattutto per gli ecosistemi ambienti marini.

(Plastic Europe)





1. Introduzione

- In particolare, si stima che 11 milioni di tonnellate di rifiuti di plastica siano mal gestiti e scaricati negli oceani ogni anno, una cifra prevista quasi triplicare entro il 2040.
- Lo smaltimento improprio delle reti da pesca e dei relativi attrezzi contribuiscono per circa il 20% all'accumulo totale di plastica oceanica (circa 640.000 tonnellate/anno).
- Attualmente non esiste una regolamentazione specifica per il recupero dei rifiuti plastici derivati da attività marine, che vengono generalmente smaltiti in discarica o inceneriti. Pertanto, strategie di riciclo sono fortemente incoraggiati a mitigare questo tipo di rifiuti di plastica.



(Linton et al., 2020)



1. Introduzione

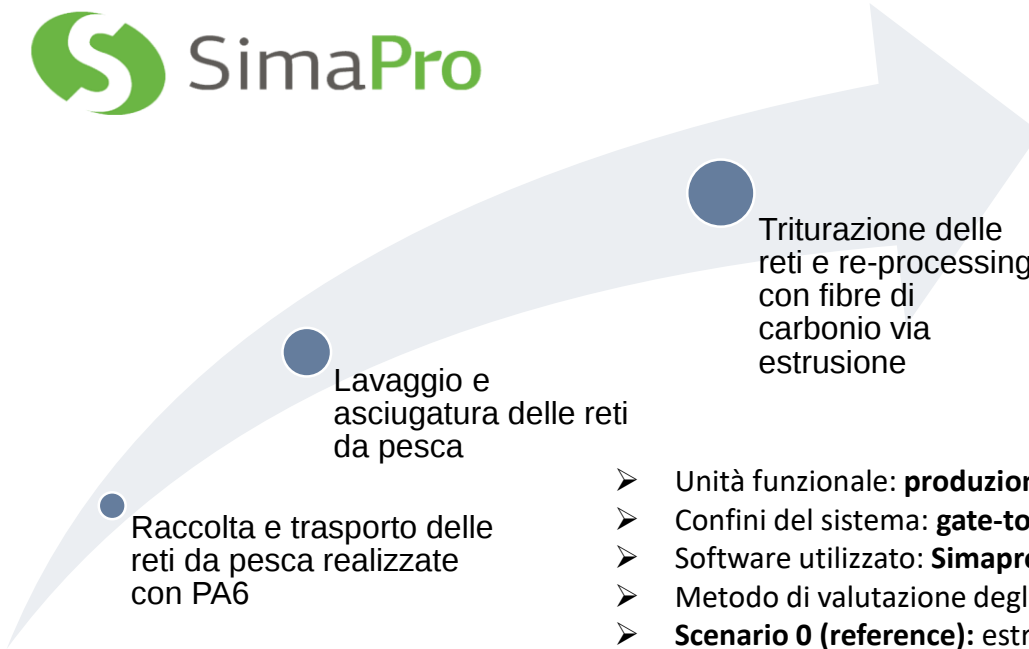
- L'obiettivo di questo studio è una analisi LCA per la produzione a scala industriale di materiali compositi a matrice polimerica rinforzati con fibra di carbonio (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP) utilizzando materiali riciclati.
- Il materiale polimerico riciclato è la poliammide 6 (PA6), che rappresenta il polimero più comune utilizzato nella fabbricazione di accessori per la pesca.
- Le fibre di carbonio (CF) riciclate sono ottenute da scarti di CFRP (62 wt% T830H Torayca® CF, 38 wt% resina epossidica).
- Precedenti prove di laboratorio hanno mostrato che il riciclo dei materiali sopra descritti e la loro combinazione attraverso il processo di estrusione porta a compositi con proprietà termiche e meccaniche superiori rispetto a quelli realizzati con materiali vergini.

(Ciacci et al. 2022; Rossi et al., 2024; Pasciucco et al., 2025)





2. Materiali & metodi



Compositi a matrice polimerica rinforzati con fibra di carbonio (CFRP)

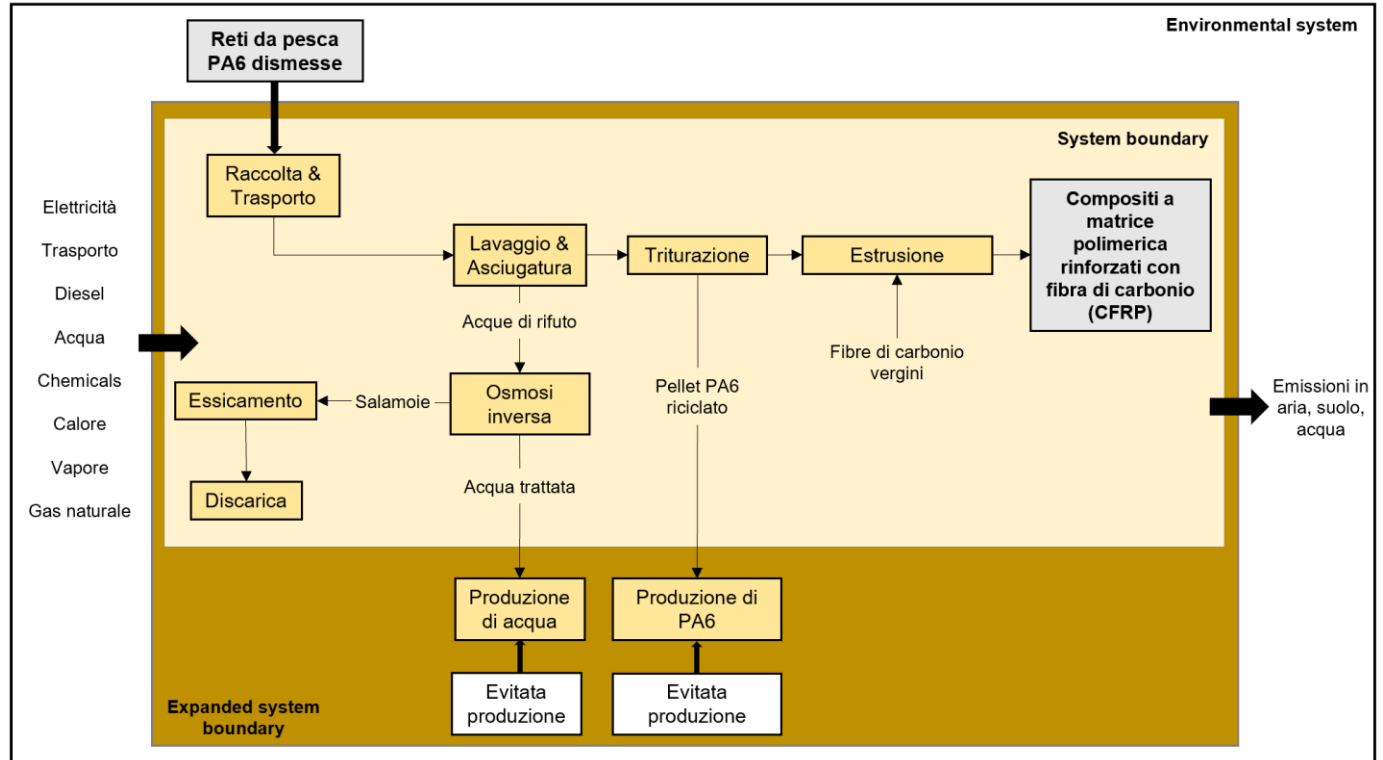


- Unità funzionale: **produzione di 1 ton di CFRP in forma granulare (PA6 85 wt%, CF 15 wt%)**
- Confini del sistema: **gate-to-gate**
- Software utilizzato: **Simapro 9.6**
- Metodo di valutazione degli impatti: **CML-IA baseline**
- **Scenario 0 (reference):** estrusione di PA6 vergine (**vPA6**) e fibre di carbonio vergini (**vCF**)
- **Scenario 1:** estrusione di PA6 riciclato (**rPA6**) e fibre di carbonio vergini (**vCF**)
- **Scenario 2:** estrusione di PA6 riciclato (**rPA6**) e fibre di carbonio riciclate (**rCF**)



2. Materiali & metodi

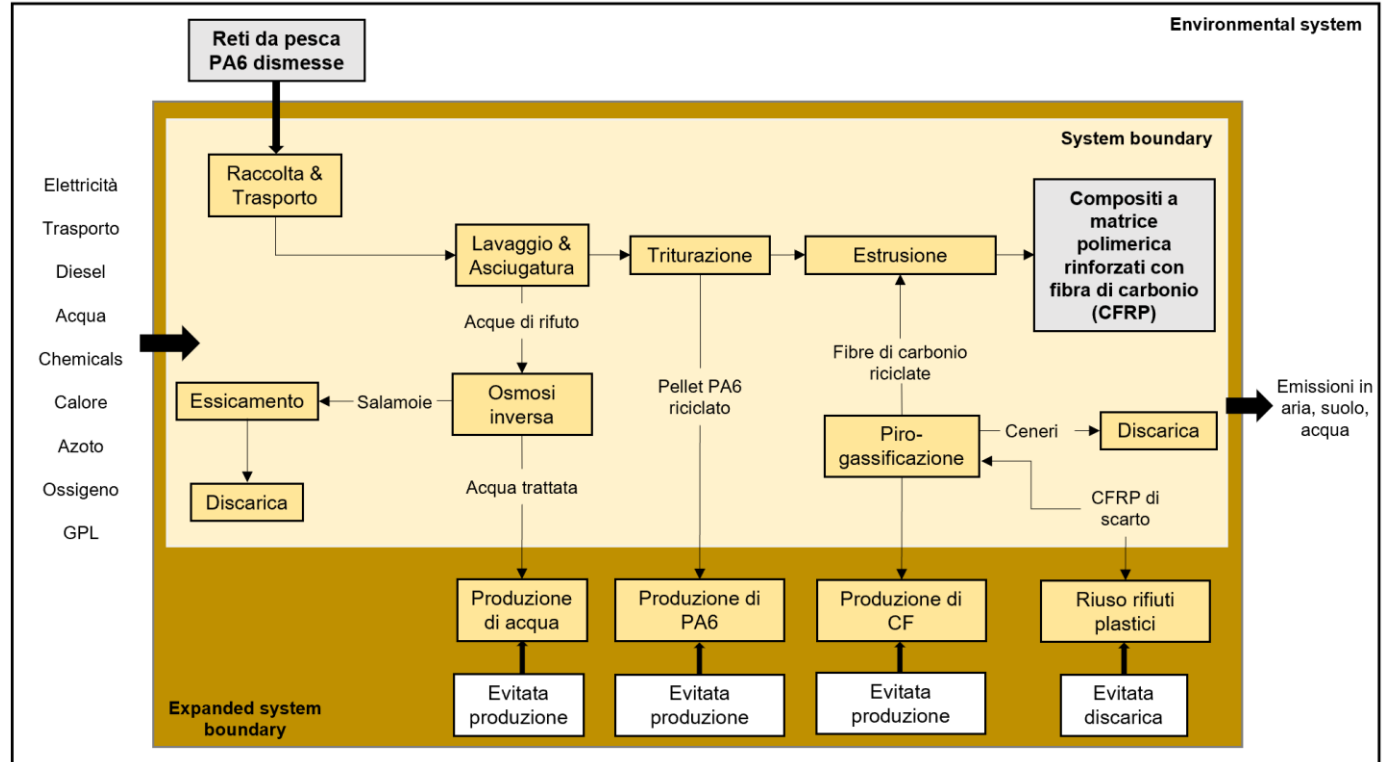
- **Scenario 1:**
estrusione di PA6
riciclato (rPA6) e
fibre di carbonio
vergini (vCF)





2. Materiali & metodi

- **Scenario 2**
estrazione di PA6
riciclato (rPA6) e
fibre di carbonio
riciclate (rCF)





2. Materiali & metodi

Journal of Cleaner Production 486 (2025) 144634



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



- I dati di *foreground* sono stati ricavati da letteratura, test di laboratorio e cataloghi commerciali.
- I dati di *background* sono stati ricavati dal database ecoinvent, versione 3.10.
- L'analisi di inventario dettagliata, le ipotesi assunte e i riferimenti letterari sono riportati in Pasciucco et al. (2025), ***Recycling polyamide 6 fishing nets and carbon fibers for the development of novel sustainable composites: Properties and LCA process analysis.***

Recycling polyamide 6 fishing nets and carbon fibers for the development of novel sustainable composites: Properties and LCA process analysis

Francesco Pasciucco ^a, Damiano Rossi ^{b,*}, Emanuele Maccaferri ^c, Isabella Pecorini ^a, Loris Giorgini ^c, Maurizia Seggiani ^b

^a Department of Engineering for Energy, Systems, Territory and Constructions, University of Pisa, Via Carlo Francesco Gabba 22, 56122, Pisa, Italy

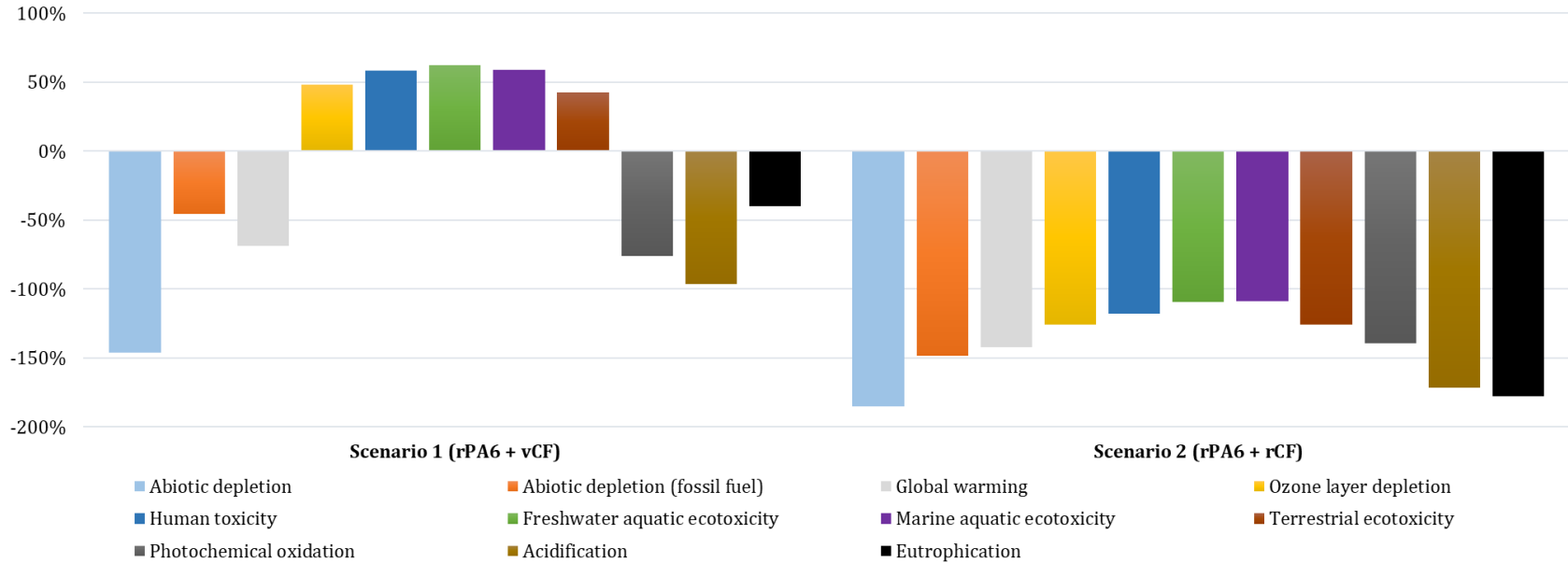
^b Department of Civil and Industrial Engineering, University of Pisa, Largo Lucio Lazzarino 1, 56122, Pisa, Italy

^c Department of Industrial Chemistry "Toso Montanari", University of Bologna, Viale del Risorgimento 4, Bologna, 40136, Italy





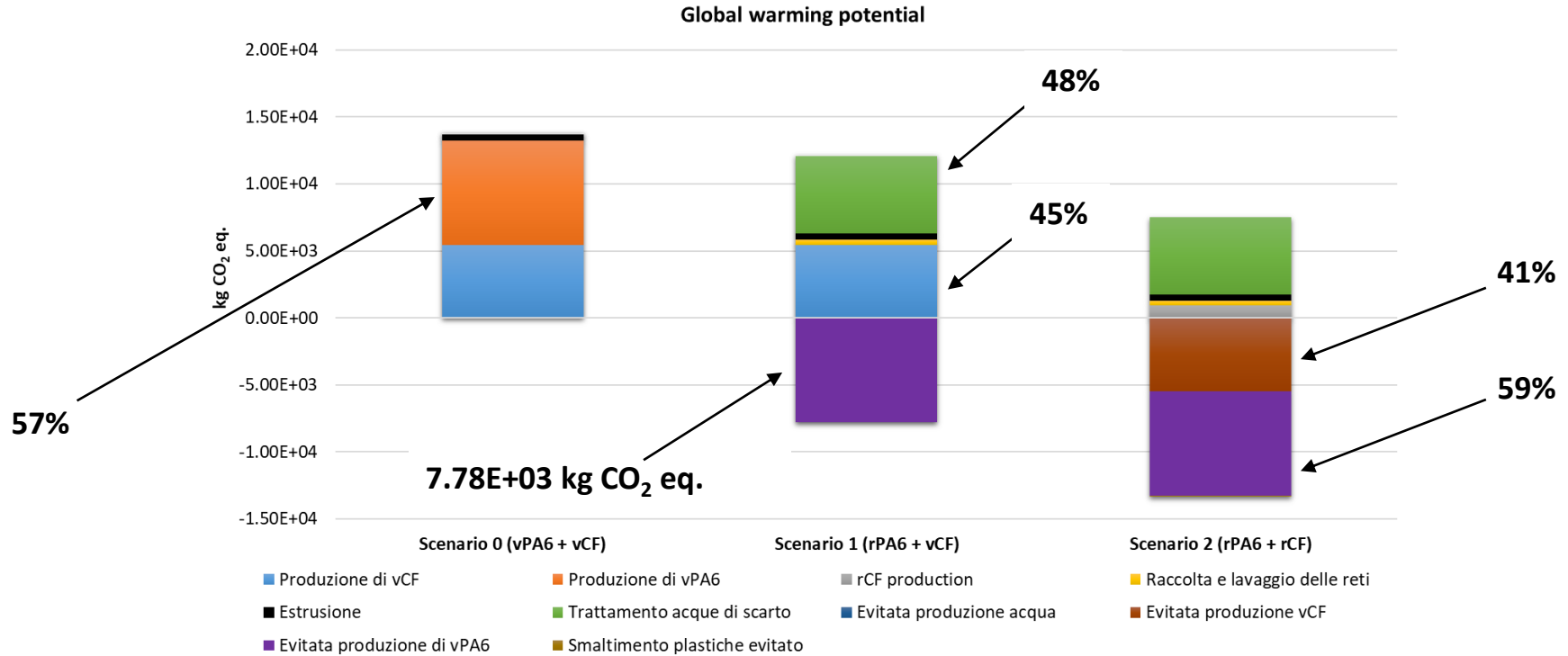
3. Risultati & discussione



- Nello Scenario 1, l'utilizzo di rPA6 ha portato a una diminuzione impatti ambientali in 6 indicatori su 11.
- Gli impatti evitati dovuto al recupero sia di rPA6 che rCF hanno superato significativamente gli impatti diretti generati dal sistema nello Scenario 2, portando a notevoli riduzioni delle emissioni totali in 11 su 11 ambienti indicatori.

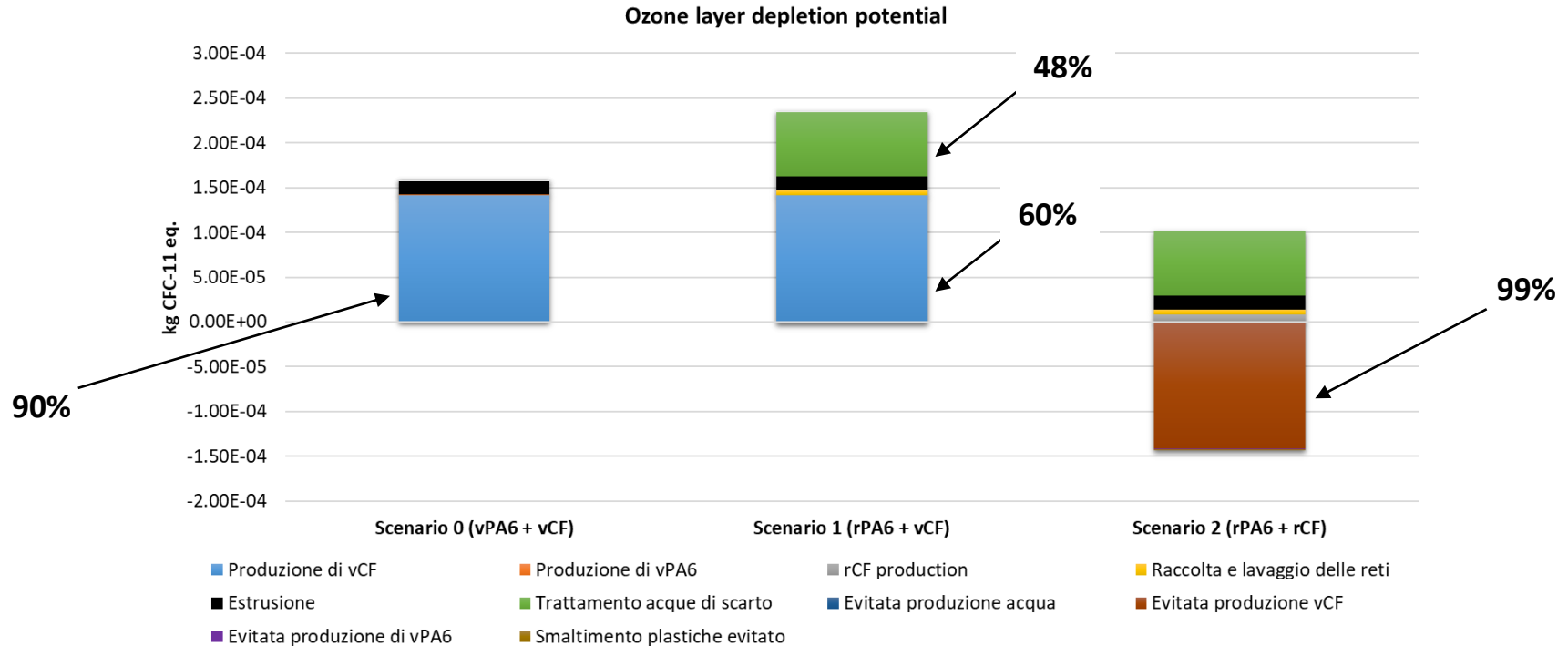


3. Risultati & discussione





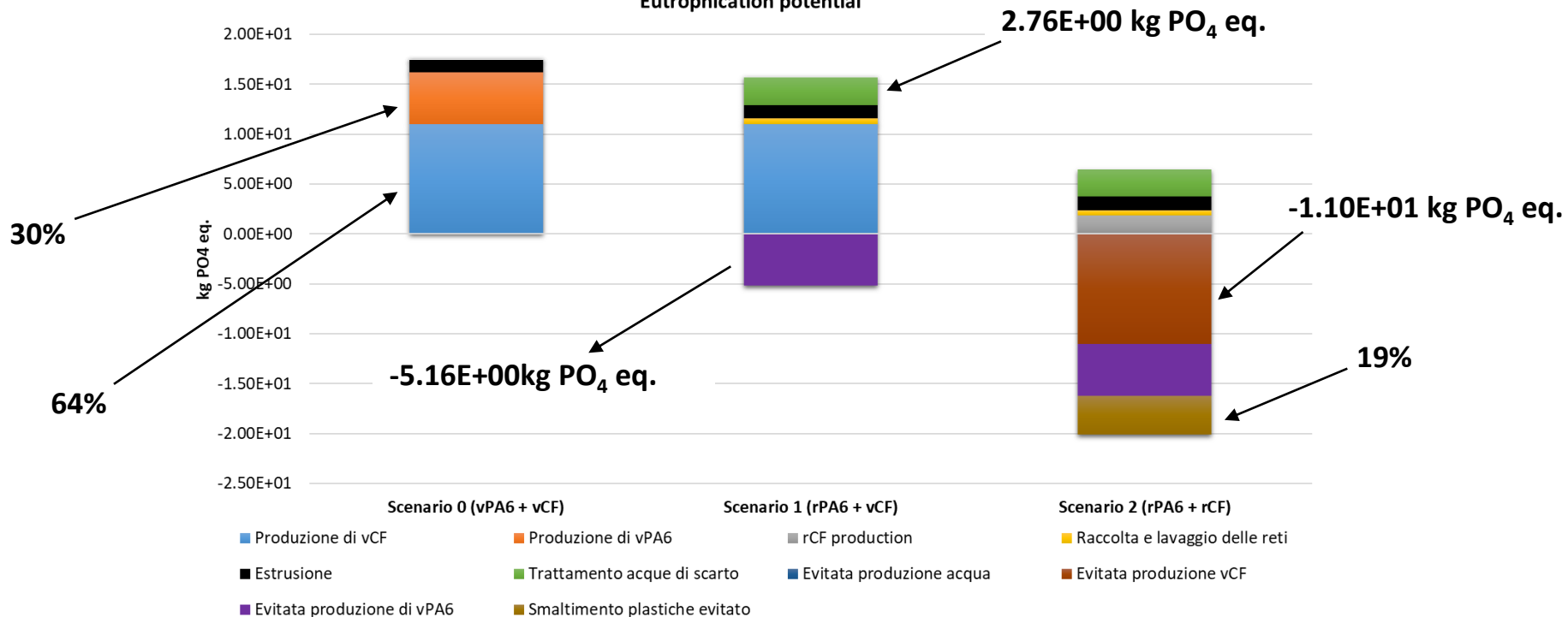
3. Risultati & discussione





3. Risultati & discussione

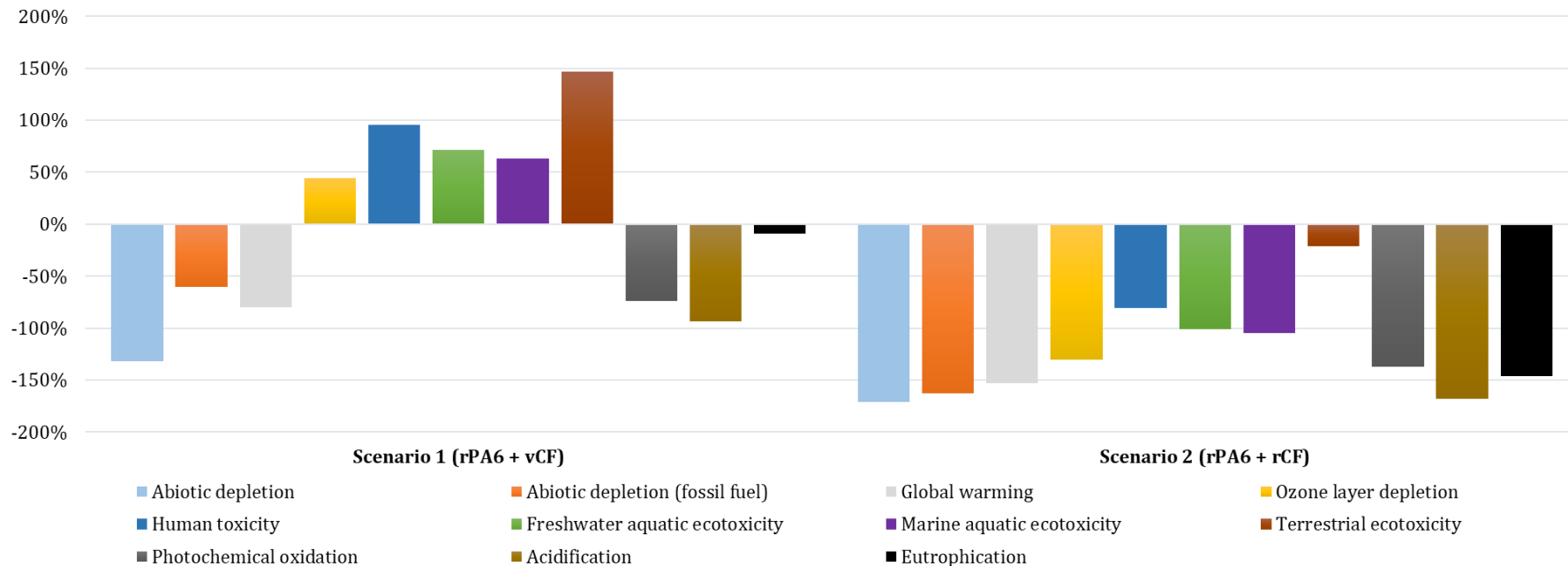
Eutrophication potential





3. Risultati & discussione

➤ **Analisi di sensitività:** trattamento delle acque reflue in un impianto industriale (WWTP, distanza 100 km)





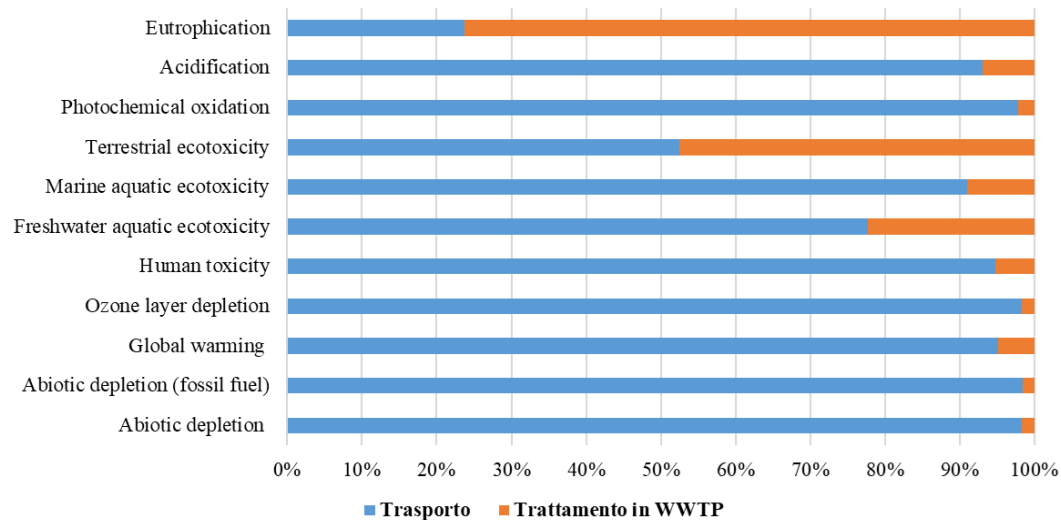
3. Risultati & discussione

- **Analisi di sensitività:** trattamento delle acque reflue in un impianto industriale (WWTP, distanza 100 km)

Confronto rispetto all'analisi LCA di default

Categoria di impatto	Scenario 1	Scenario 2
Abiotic depletion [kg Sb eq.]	31%	17%
Abiotic depletion (fossil fuels) [MJ]	-27%	-30%
Global warming [kg CO ₂ eq.]	-36%	-27%
Ozone layer depletion [kg CFC-11 eq.]	-3%	-17%
Human toxicity [kg 1,4-DB eq.]	24%	210%
Freshwater aquatic ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	5%	92%
Marine aquatic ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	3%	47%
Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	73%	405%
Photochemical oxidation [kg C ₂ H ₄ eq.]	9%	5%
Acidification [kg SO ₂ eq.]	94%	4%
Eutrophication [kg PO ₄ eq.]	52%	40%

Contributi relativi al trattamento reflui in impianto





4. Conclusioni

- Rispetto allo Scenario 0, lo Scenario 1 ha prodotto meno emissioni inquinanti in 6 delle 11 categorie di impatto previste dal metodo CML-IA baseline.
- Lo scenario 2 è stata l'opzione migliore in tutti gli indicatori grazie alle produzioni evitate di vPA6 e vCF, mostrando un risparmio totale di 5,74E+03 kg di emissioni equivalenti di CO₂.
- l'analisi di sensitività ha confermato che l'introduzione di materiali riciclati nella filiera produttiva ha portato ad una progressiva riduzione delle emissioni totali, evidenziando l'importanza di un recupero efficiente dei prodotti di scarto.

Ringraziamenti

- Si ringraziano il Prof. Loris Giorgini e il dott. Emanuele Maccaferri del Dipartimento di Chimica industriale dell'Università di Bologna.
- *Questa ricerca è stata finanziata dall'Unione Europea - Next Generation EU (Centro Nazionale Mobilità Sostenibile. CN00000023. Decreto del Ministero dell'Università e della Ricerca n. 1033-17/06/2022. Spoke 11 - Innovative Materials & Lightweighting - Scalability Project "SUSTAINED")*





4. Conclusioni

LISAP
LABORATORIO DI INGEGNERIA
SANITARIA AMBIENTALE DELLA
UNIVERSITÀ DI PISA



Team: **Renato Iannelli** (Full Professor); **Isabella Pecorini** (Assistant Professor); **Francesco Pasciucco** (Postdoc), **Alessio Castagnoli**, **Erika Pasciucco**, **Sara Corti** (PhD candidate).

Attività di ricerca e laboratorio

➤ **Trattamento delle acque reflue**

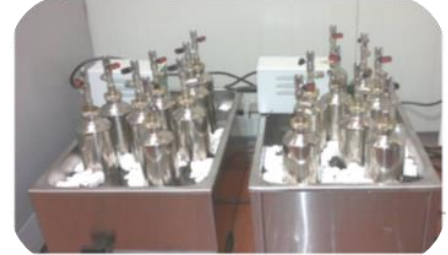
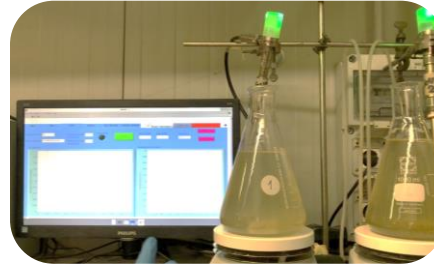
✓ Test e ottimizzazione dei processi innovativi di trattamento e recupero di risorse.

➤ **Trattamento di rifiuti solidi urbani e bio-rifiuti**

✓ Strategie innovative per il recupero di bioenergia e bioproducti

➤ **Bonifica di siti contaminati**

✓ Processi elettrochimici e biologici





Bibliografia

1. Plastic Europe: Plastics - The Facts Available online: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>.
2. Linton, J.D., Klassen, R., Jayaraman, V., Walker, H., Brammer, S., Ruparathna, R., Hewage, K., Thomson, J., Jackson, T., Baloi, D., et al., 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. Science 369, 1455–1461. <https://doi.org/10.1126/science.aba9475> (80-).
3. Ciacci, L., Zattini, G., Tosi, C., Berti, B., Passarini, F., Giorgini, L., 2022. Carbon fibers waste recovery via pyro-gasification: semi-industrial pilot plant testing and LCA. Sustainability 14, 3744. <https://doi.org/10.3390/su14073744>.
4. Rossi, D., Cappello, M., Filippi, S., Bartoli, M., Malucelli, G., Cinelli, P., Seggiani, M., 2024. Polyamide 6 recycled fishing nets modified with biochar fillers : an effort toward sustainability and circularity. Mater. Today Commun. 41, 110650. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.110650>.
5. Pasciucco, F., Rossi, D., Maccaferri, E., Pecorini, I., Giorgini, L., & Seggiani, M. (2024). Recycling Polyamide 6 Fishing Nets and Carbon Fibers for the Development of Novel Sustainable Composites: Properties and LCA Process Analysis. Journal of Cleaner Production, 144634. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144634>.