

Valutazione del ciclo di vita delle bioplastiche: confronto tra petroplastiche biodegradabili e plastiche bio-based non biodegradabili.

La valutazione del ciclo di vita (LCA) è un metodo per quantificare la sostenibilità ambientale di un prodotto, di un processo o di un servizio [1]. Da un punto di vista generale, l'LCA consente di valutare le interazioni che un prodotto o servizio ha con l'ambiente, considerando il suo intero ciclo di vita che comprende i punti di preproduzione (estrazione e produzione di materie prime), produzione, distribuzione, uso (compresi riutilizzo e manutenzione), riciclaggio e smaltimento finale [2]. L'LCA è stato inoltre evidenziato dalla Direttiva 94/62/CE come uno strumento in grado di "giustificare una chiara gerarchia tra imballaggi riutilizzabili, riciclabili e recuperabili e legittimare l'analisi dei sistemi ambientali per la politica e le strategie di trattamento dei rifiuti" [3].

L'LCA può essere utilizzato per calcolare e confrontare la sostenibilità ambientale di due materiali plastici scelti: PET (polietilene tereftalato) e PLA (acido polilattico), entrambi utilizzati nella produzione di bottiglie in bio-plastica per la distribuzione di acqua potabile; sulla base del consumo medio di 1,5 L di acqua al giorno, distribuiti in 3 bottiglie da 500mL [4] è stato creato un LCA basato su una "lunghezza di vita" di un anno, calcolato per 1095 bottiglie di PET e PLA; le perdite di materiali (di circa il 10%) tra le fasi di produzione dei monomeri e di processo di polimerizzazione sono state considerate trascurabili.

LCA del PET:

Il processo di produzione del PET (Fig.1) inizia con l'estrazione di gas naturale e petrolio, al fine di ottenere i monomeri, ovvero il glicole monoetilenico (MEG) e l'acido tereftalico purificato (PTA). La fase di sintesi del monomero richiede una reazione di ossidazione del paraxilene con acido acetico in presenza di catalizzatori e additivi chimici per ottenere PTA come prodotto [5]. La sintesi del MEG parte dalla produzione del precursore ossido di etilene, a seguito di una reazione di idrolisi. Quindi, si effettua una co-polimerizzazione per ottenere granuli di PET, poi sottoposti al processo di stretch blow moulding: il polimero in granuli è riscaldato alla temperatura di transizione vetrosa, gonfiato e successivamente stirato nella parte superiore per generare il collo della bottiglia [6].

Per il fine vita sono stati considerati diversi possibili scenari come il riciclaggio a ciclo aperto e a ciclo chiuso oppure il 100% trattato come rifiuto indifferenziato e quindi destinato all'incenerimento o alla discarica.

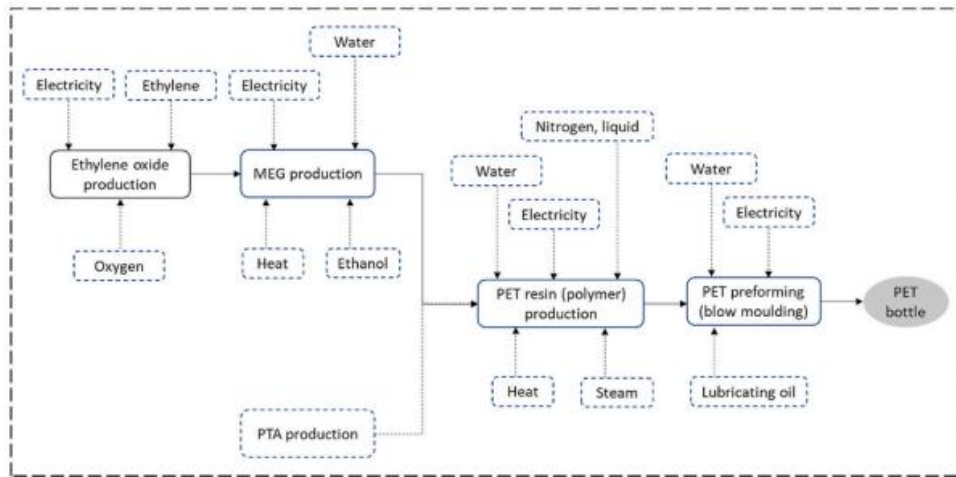


Fig. 1: LCA della produzione di bottiglie in PET.

LCA del PLA:

Nell'LCA (Fig. 2) è inclusa la fase agricola: dalla semina alla raccolta del mais compreso l'uso di fertilizzanti, acqua e pesticidi; l'essiccazione del mais, considerando anche la perdita d'acqua, tutto questo permette di calcolare la quantità di cereali secchi necessari per la produzione di una singola bottiglia, nelle fasi di produzione di glucosio e fermentazione ad acido lattico, vero precursore del polimero PLA. Per la produzione di una bottiglia è necessaria una quantità di PLA in granuli di 11,28 g (peso di una bottiglia da 500 mL in PLA). Per il fine vita si considerano due possibili opzioni: l'incenerimento al 100% in caso di gestione come rifiuto indifferenziato, oppure il compostaggio al 100% nel caso di raccolta differenziata come frazione organica urbana.

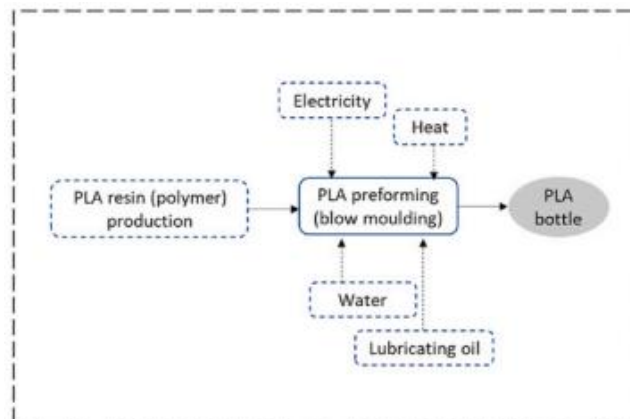


Fig.2: LCA della produzione di bottiglie in PLA.

Categorie d'impatto analizzate nell'LCA:

GWP: potenziale di riscaldamento globale; OPD: potenziale di riduzione dell'ozono; PA: potenziale di acidificazione dei suoli e delle acque; EP: potenziale di eutrofizzazione; POFP: potenziale di produzione di ozono fotochimico; FDP: potenziale di riduzione della risorsa del combustibile fossile; http: potenziale di

tossicità per l'essere umano; ETP: potenziale di eco-tossicità; WD: potenziale di acqua necessaria per diluire sostanze tossiche emesse nella matrice acqua o suolo; LOP: potenziale di suolo sfruttato.

I valori di LCA per produzione ed utilizzo giornaliero delle bottiglie (3 bottiglie) e di una singola bottiglia sono riportati nella seguente tabella:

Impact category	1 PET bottle	3 PET bottles (daily cons.)	1 PLA bottle	3 PLA bottles (daily cons.)	Unit
Climate change (GWP)	0.134	0.403	0.616	1.847	kgCO ₂ eq.
Eutrophication (EP)	2.28·10 ⁻⁵	6.85·10 ⁻⁵	5.90·10 ⁻⁴	17.70·10 ⁻⁴	kgPO ₄ eq.
Photochemical oxidant formation (POFP)	3.10·10 ⁻⁴	9.30·10 ⁻⁴	25.20·10 ⁻⁴	75.60·10 ⁻⁴	kgNMVOC ^a
Ozone layer depletion (OLDP)	9.82·10 ⁻⁶	29.40·10 ⁻⁶	9.17·10 ⁻⁸	27.5·10 ⁻⁸	kgCFC-11 ^b eq.
Acidification (AP)	5.20·10 ⁻⁴	15.60·10 ⁻⁴	27.5·10 ⁻⁴	82.5·10 ⁻⁴	kgSO ₂ eq.
Fossil depletion (FD)	0.055	0.166	0.247	0.742	kg oil eq.
Water depletion (WD)	6.99	20.97	8.92	26.76	liters
Human toxicity (HTP)	0.050	0.151	0.218	0.653	kg 1,4-DB ^c eq.
Eco toxicity (ETP)	2.15·10 ⁻³	6.45·10 ⁻³	9.86·10 ⁻³	29.58·10 ⁻³	kg 1,4-DB eq.
Land occupation (LOP)	2.01·10 ⁻³	6.03·10 ⁻³	32.28·10 ⁻³	96.84·10 ⁻³	m ²
Particulate matter formation (PMFP)	1.70·10 ⁻⁴	5.10·10 ⁻⁴	13.4·10 ⁻⁴	40.20·10 ⁻⁴	kg PM10 eq.

a. NMVOC = carbonio organico volatile, non metano;

b. CFC-11 = triclorofluorometano;

c. 1,4-DB = 1,4 diclorobenzene.

GWP: i risultati sono confrontabili con i valori riportati in letteratura, compresi tra 0,091 e 0,156 kgCO₂eq. per la produzione di una bottiglia in PET [7], mentre in diversi studi su prodotti a base di mais la produzione di bottiglie di PLA mostra valori di GWP inferiori, come 0,212 kgCO₂ eq./bottiglia e 0,414 kgCO₂eq./bottiglia [8], ovvero 0,122 kgCO₂eq/ bottiglia a partire dalla coltivazione della manioca. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che in alcuni studi l'assorbimento di CO₂ durante la coltivazione delle colture è stato tenuto in considerazione e sottratto ai valori finali del GWP. Inoltre, è molto difficile confrontare diverse produzioni di bottiglie di PLA basate su colture diverse, poiché gli input di coltivazione (ad es. pesticidi, fertilizzanti, operazioni sul campo) sono generalmente diversi con effetti diversi sul GWP.

Per la produzione di bottiglie in PET, il maggior contributo in quasi tutte le categorie di impatto è stato attribuibile alla produzione di resina PET, seguita dallo stiro-soffiaggio per la formatura delle bottiglie. All'interno della produzione di resina PET, circa il 50% di tutti gli impatti è causato dalla produzione di PTA, il principale contributo antropico all'effetto serra (GWP) è dovuto alla combustione di combustibili fossili ed è espresso in kg di CO₂ equivalente, durante la sintesi del PTA, la produzione di paraxilene copre oltre il 13% del GWP complessivo a causa dell'uso di molti additivi chimici.

DW: potenziale di utilizzo dell'acqua, questo è significativo nell'operazione di stiro-soffiaggio, raggiungendo quasi il 45% del consumo potenziale totale di acqua (WDP). Ciò è dovuto all'elevata temperatura dei materiali durante il soffiaggio che necessita di una grande quantità di acqua di raffreddamento, che a sua volta influenza anche le altre categorie di impatto relative alle acque reflue, come EP: potenziale di eutrofizzazione ed ETP: potenziale di eco-tossicità.

Sia nel caso di HTP (potenziale di tossicità per la salute umana) che di ETP (potenziale di eco-tossicità) occorre distinguere tra tossicità acuta, che può portare alla morte del bersaglio quando la concentrazione di tossico nell'ambiente è molto elevata, e cronica con effetti a lungo termine causati da sostanze non biodegradabili e persistenti che possono essere anche bioaccumulabili. Questi impatti possono verificarsi sia su scala globale che regionale a seconda del fattore di diffusione, il che rende molto difficile interpretare i dati di impatto in termini di azione efficace sulla salute umana. Le emissioni in atmosfera, generate dalla combustione in fabbrica, nei trasporti e dovute ai macchinari di processo, sono la principale fonte di ETP.

EP: Per il PLA, la fase agricola deve essere ritenuta la principale responsabile dei danni e degli impatti ambientali in tutte le categorie. L'uso di fertilizzanti genera rilasci molto elevati di nitrati e fosfati nell'ambiente, provocando fenomeni di eutrofizzazione molto marcati [9]. Nel caso dei sistemi acquatici, ciò comporta una sproporzionata proliferazione algale che innesca una rottura dell'equilibrio dell'ecosistema e può causare la morte per asfissia della fauna ittica. Gli effetti di questo impatto sono generalmente regionali, localizzati vicino alle aree di rilascio di sostanze [10]. Nella produzione di plastica biodegradabile, più del 95% dell'eutrofizzazione è generalmente attribuibile alla trasformazione agricola [11].

ODP: Un altro effetto rilevante che desta preoccupazione per la salute umana è l'assottigliamento dello strato di ozono. L'ozono svolge una funzione protettiva in quanto assorbe la maggior parte delle radiazioni ultraviolette nocive ad alto contenuto energetico, in grado di interagire con molecole biologiche, come il DNA, e quindi causare l'insorgenza di tumori e mutazioni sia per gli ecosistemi acquatici che terrestri. Sia per il PET che per il PLA, il principale contributo all'assottigliamento dello stato di ozono deriva dalla fase di sintesi del polimero.

Risultati nell'arco temporale di un anno:

L'utilizzo annuale di bottiglie in PET ha un impatto ambientale inferiore rispetto all'utilizzo di bottiglie in PLA. Per il PET dall'analisi è emerso che lo smaltimento in discarica provoca l'emissione di 1,7 kgCO₂ eq. mentre l'incenerimento 42,5 kgCO₂ eq. Il maggior impatto dell'incenerimento è dovuto all'impianto di inceneritore stesso e alla produzione di energia per la combustione, che non avviene nelle discariche, dove i rifiuti vengono semplicemente raccolti e accumulati. Il riciclo delle bottiglie in PET consente la produzione di granuli o scaglie secondarie destinate ad altri usi, come le fibre (riciclaggio a circuito aperto) [12]. Dopo aver subito un processo di policondensazione allo stato solido (SSP), dove i granuli vengono riscaldati a temperature inferiori al punto di fusione per aumentare la loro viscosità intrinseca a livelli compatibili con il processo di stampa ad iniezione e per rimuovere ogni possibile contaminazione organica residua derivante dalla loro utilizzo precedente, il PET può essere riutilizzato per la produzione di bottiglie (riciclaggio a circuito chiuso) [13]. Lo scenario del riciclaggio del PET consente di risparmiare una quantità di CO₂ eq. da 35,3 (opzione a ciclo aperto) a 7,3 (opzione a ciclo chiuso) kg su base annua.

Per il PLA è stato osservato che l'incenerimento non comporta alcun beneficio per l'ambiente in termini di impatti evitati, perché il materiale viene totalmente bruciato. Il compostaggio, spesso indicato come la migliore opzione e alternativa green, incentiva la produzione di bioplastiche ma in realtà non porta alcun beneficio ambientale in quanto la bottiglia viene totalmente degradata e quindi nessuna frazione viene riciclata e riutilizzata per la sintesi di bottiglie secondarie. Ciò significa che nella fase iniziale della filiera di produzione delle bottiglie in bioplastica non vi è alcuna riduzione né della quantità di materiale vergine né nella fase agricola: le fasi produttive più impattanti. Tuttavia, vale la pena notare che il carbonio rilasciato durante il compostaggio con PLA è il carbonio biogenico assorbito dall'atmosfera durante la fase di crescita del mais, quindi le emissioni nette del processo di compostaggio sono pari a zero. Inoltre, la produzione di compost può essere considerata vantaggiosa per il suo utilizzo come fertilizzante organico in sostituzione di fertilizzanti chimici a base di azoto e fosforo [14]. Ipotizzando una resa in compost di circa il 30% da PLA (ovvero 0,33 kg di compost/1 kg di PLA trasformato), l'uso del compost come fertilizzante restituirebbe circa 0,3 kg di CO₂ eq./kg di compost [15]. Sulla base di questi dati, si osserva un piccolo "credito di emissione" per il compostaggio alternativo: in un anno da 12,3 kg di PLA (1095 bottiglie), si producono circa 4 kg di compost, e, anche ipotizzando un suo utilizzo nella concimazione organica del mais, si ha un rendimento di circa 0,5 kg di CO eq.

In conclusione, la sostenibilità delle bottiglie in PLA paga un grande impatto per la fase agricola, anche se in parte di questi potrebbero essere mitigati dal ciclo chiuso del compost come fertilizzante organico. Le bottiglie in PET, invece, se opportunamente riciclate, possono assicurare un beneficio ambientale dovuto al risparmio di materiale vergine che consente un minor carico sul consumo delle risorse naturali, quindi, una corretta informazione sulle best practice dell'economia circolare, che permetta un corretto riciclo delle tradizionali bottiglie in PET, può aiutare cittadini e consumatori ad avvicinarsi consapevolmente a questo tema fondamentale per il futuro del pianeta.

Vanessa Spadavecchia

BIBLIOGRAFIA:

- [1] D. Henton, P. Gruber, J. Lunt, J. Randall, Polylactic acid technology, in: A.K. Mohanty, M. Misra, L.T. Drzal (Eds.), *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2005.
- [2] Wolfson, A., Dominguez-Ramos, A., Irabien, A., 2019. From goods to services: the life cycle assessment perspective. *Journal of Service Science Research* 11.
- [3] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0062&from=LV>
- [4] Nissensohn, M., Sanchez-Villegas, A., Galan, P., Turrini, A., Arnault, N., Mistura, L., et al., 2017. Beverage consumption habits among the European population: association with total water and energy intakes. *Nutrients* 9 (4), 383.
- [5] Chen, L., Pelton, R.E., Smith, T.M., 2016. Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *J. Clean. Prod.* 137, 667–676.
- [6] Giridharreddy, K., Tech, K.R.M., 2013. Blow mould tool design and manufacturing process for 1litre PET bottle. *J. Mech. Civ. Eng* 8 (1), 12–21.
- [7] Papong, S., Malakul, P., Trungkavashirakun, R., Wenunun, P., Chom-in, T., Nithitanakul, M., Sarobol, E., 2014. Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *J. Clean. Prod.* 65, 539–550.
- [8] Gironi, F., Piemonte, V., 2011. Life cycle assessment of polylactic acid and polyethylene terephthalate bottles for drinking water. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 30 (3), 459–468
- [9] Hong, J., Ren, L., Hong, J., Xu, C., 2016. Environmental impact assessment of corn straw utilization in China. *J. Clean. Prod.* 112, 1700–1708.
- [10] Reddy, V.R., Cunha, D.G.F., Kurian, M., 2018. A water–energy–food nexus perspective on the challenge of eutrophication. *Water* 10 (2), 101.
- [11] Dietrich, K., Dumont, M.J., Del Rio, L.F., Orsat, V., 2017. Producing PHAs in the bioeconomy—towards a sustainable bioplastic. *Sustainable production and consumption* 9, 58–70
- [12] Shen, L., Worrell, E., Patel, M.K., 2010. Open-loop recycling: a LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resour. Conserv. Recycl.* 55 (1), 34–52.
- [13] Chilton, T., Burnley, S., Nesaratnam, S., 2010. A life cycle assessment of the closed-loop recycling and thermal recovery of post-consumer PET. *Resour. Conserv. Recycl.* 54 (12), 1241–1249.
- [14] Larney, F.J., Sullivan, D.M., Buckley, K.E., Eghball, B., 2006. The role of composting in recycling manure nutrients. *Can. J. Soil Sci.* 86 (4), 597–611.
- [15] De Andrade, M.F.C., Souza, P.M., Cavalett, O., Morales, A.R., 2016. Life cycle assessment of poly (lactic acid)(PLA): comparison between chemical recycling, mechanical recycling and composting. *J. Polym. Environ.* 24 (4), 372–384.