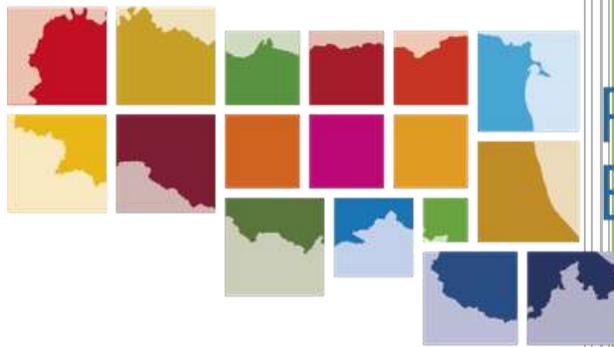


2022

Cabina di Regia Strategia Plastic-freeER:
Report gruppo di lavoro Tecnologia

#Plastic-freeER



Regione
Emilia-Romagna
2030

Cabina di Regia #PlasticFreER

Gruppo di lavoro “orizzontale” Tecnologia

Alberto Bellini*, Alessandra Bonoli**, Anna Maria Ferrari***, Paola Fabbri**, Arianna Ruggeri*, Guido Croce****, Daniela Sani****

*DEI, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna

**DICAM, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna

***DISMI, Università di Modena e Reggio Emilia

****ART-ER, Attrattività Ricerca Territorio

Sommario

1. Introduzione	3
2. Bioplastiche	5
3. Plastiche: quale futuro?	6
4. La gestione dei rifiuti plastici in Emilia-Romagna	11
5. Impianti di trattamento, recupero e smaltimento	14
5.1 Riciclo meccanico	14
5.2 Riciclo chimico	17
6. Recupero energetico	20
7. Scenari a confronto	22
8. Indicatori ambientali	25
9. Conclusioni	27
10. Bibliografia	28

1. Introduzione

La plastica è un materiale indispensabile grazie alle sue proprietà di resistenza, duttilità, malleabilità, lavorabilità e proprietà di isolamento, in aggiunta ad un basso costo di produzione.

Le plastiche, la cui produzione dagli anni '40 ad oggi è aumentata in modo esponenziale, sono una categoria di polimeri sintetici organici, che possono avere origine fossile o rinnovabile. Non si tratta di un singolo materiale, ma di una famiglia in cui ogni tipologia ha caratteristiche che le rendono adatta ad applicazioni che coprono un'ampia gamma di possibili utilizzi. La loro produzione è stata ottimizzata diventando economica sia da un punto di vista monetario che dall'utilizzo di risorse, permettendo di ottenere manufatti leggeri, resistenti e versatili.

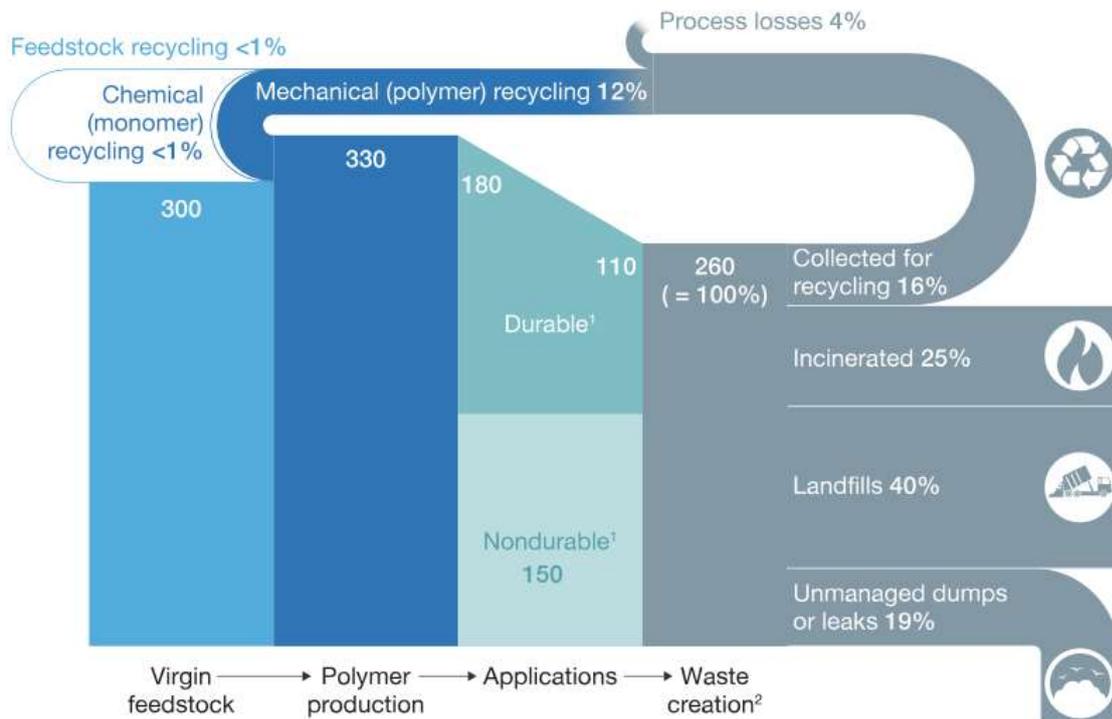
Le favorevoli caratteristiche fisico-chimiche delle plastiche le rendono il materiale perfetto per una varietà di prodotti, con amplissime applicazioni in tutti i settori produttivi.

Sostituire la plastica con materiali alternativi potrebbe aumentare il peso medio degli imballaggi di un fattore 4 e di conseguenza aumentare le emissioni di gas a effetto serra associate al settore di un fattore 2 [1]. Inoltre, in ambito alimentare, le plastiche sono utilizzate per proteggere e conservare il cibo, riducendo lo spreco alimentare e il peso per la distribuzione con impatti ambientali indiretti molto significativi per il settore trasporto. Oggi le plastiche sono il materiale più diffuso in termini di volume con una produzione globale che supera carta e alluminio.

Tuttavia, oggi la plastica oltre che una risorsa è un problema globale, portato all'attenzione da evidenze catastrofiche: isole di plastica negli oceani, pesci soffocati dalla plastica che ingeriscono, presenza di microplastiche in atmosfera, anche in aree a bassa antropizzazione. Le plastiche impiegano molti anni per degradarsi nell'ambiente, e sono spesso lavorate con additivi tossici e persistenti. Inoltre, il fine vita dei materiali plastici comporta procedure complesse, spesso non controllate in molte parti del mondo, ed accentuate dalla mancanza di responsabilità condivisa verso i materiali post-consumo.

In particolare, in ottica di gerarchia dei rifiuti, sia le azioni di prevenzione sia le fasi post consumo di riciclo e smaltimento non raggiungono standard adeguati di circolarità. Un recente rapporto OECD [2] riporta alcuni dati di sintesi molto rilevanti: le percentuali di riciclo della plastica sono globalmente molto basse, e sono comprese tra il 9 e il 30%; senza un'azione coordinata al livello di filiere volta a garantire un uso sostenibile delle plastiche, entro il 2050 negli oceani ci sarà più plastica che pesci (in peso). Gli impatti ambientali della plastica sono enormi, perché essi sono responsabili di una percentuale significativa dei gas climalteranti, ovvero dei gas che producono un'alterazione del clima, attraverso la creazione di un sottile strato in atmosfera che, come una serra, produce un aumento della temperatura media della superficie terrestre.

La produzione globale di plastica è aumentata in modo esponenziale da 2 milioni di tonnellate nel 1950 a oltre 400 milioni di tonnellate nel 2015. Il riciclo di materiali plastici è molto basso, 14-18% a livello globale, il 24% viene trattato con inceneritori; il resto viene smaltito in discarica o abbandonato nell'ambiente [2]. Le quote di riciclo sono molto differenziate per i materiali, più elevate per PET o HDPE (imballaggi), mentre PP e PS sono inferiori. Inoltre, vi è una grande disparità a livello geografico: il riciclo raggiunge il 30% in Europa e scende al 10% negli Stati Uniti [2,3]. Nei paesi non OECD molto spesso i rifiuti non vengono controllati e, di conseguenza, i materiali plastici non solo non vengono riciclati, ma non vengono neppure raccolti in forma differenziata. A livello globale, i dati sono riassunti da un recente rapporto di McKinsey [4], che mostra che solo 1% dei prodotti plastici viene riutilizzato come nuova materia prima, figura E-1.

Global polymer flows, millions of metric tons per annum, 2016¹

¹Durable applications with an average lifetime >1 year will end up as waste only in later years; nondurable applications go straight to waste.

²150 million metric tons of mixed plastic waste from nondurable applications that end up as waste in same year, plus 110 million metric tons of mixed plastic waste from production in previous years.

McKinsey&Company

Figura E-1 Flussi globali per i polimeri plastici, con riferimento all'anno 2016 [4].

Dal punto di vista ambientale, la produzione di plastica è un processo ad alta intensità di energia e a esso sono associate emissioni di gas a effetto serra pari a 1% del totale. Inoltre, la produzione delle plastiche richiede materia prima fossile, che rappresenta quasi il 6% della produzione globale di petrolio [5]. Il carbonio utilizzato nei prodotti plastici è inerte, ma rilascia grandi quantità di gas a effetto serra quando viene trattato con inceneritori. Il costo legato al mancato trattamento di plastiche e alla conseguente dispersione in ambiente è molto elevato, pari a diversi miliardi di euro per anno [5].

Nonostante queste evidenze economiche e ambientali, il riciclo della plastica è un mercato debole e vulnerabile. Le principali criticità cui è soggetto il mercato della plastica sono le seguenti [6, 7]:

- I prodotti in plastica riciclata sono considerati semplicemente “sostituti” dei prodotti in plastica. Non esiste quindi un mercato separato, e i prodotti in plastica riciclata sono soggetti alle stesse dinamiche dei prodotti plastici. In particolare, il prezzo dei materiali in plastica riciclata è legato al prezzo del petrolio. Ovvero il prezzo dei prodotti in plastica riciclata non è direttamente legato ai processi di produzione degli stessi: raccolta, separazione e trattamento dei rifiuti plastici, generando inevitabili distorsioni e anomalie. I produttori di materiali in plastica riciclata non hanno strumenti economici per far fronte ai problemi che li riguardano direttamente.
- Il mercato della plastica riciclata è piccolo e frammentato nel confronto con il mercato delle plastiche, con un rapporto di fatturato pari a 1:10. Quindi, non ha adeguati “anticorpi” per

contrastare le crisi economiche, come ad esempio, il recente shock causato dal collasso dei costi del petrolio.

- Infine, la destinazione dei flussi di rifiuti plastici è concentrata in poche nazioni. La Cina ha trattato quasi i due terzi dei rifiuti plastici a livello mondiale, nell'ultima decade. Quindi, il mercato della plastica riciclata è particolarmente vulnerabile alle tensioni politico-economiche. Emblematico il caso delle restrizioni imposte dalla Cina all'importazione di rifiuti plastici nel 2018.

Naturalmente, questi impatti variano in base ai diversi tipi di plastica.

Oltre ai rischi di natura economica, vi sono alcuni rischi legati alle caratteristiche tecniche dei materiali, alla frammentazione delle normative sulla gestione dei rifiuti e all'impatto ambientale [6, 7]:

- I prodotti plastici sono quasi sempre formati da plastiche congiunte, e, anche per la presenza di additivi chimici, è difficile separarli correttamente per un effettivo riciclo.
- La regolazione del settore rifiuti è estremamente complessa e frammentata. Spesso le regolazioni sono diverse tra Nazioni e anche tra diverse Regioni di uno stesso Stato. Questo rende difficili (o impossibili) le economie di scala. Viceversa, le tecnologie di trattamento e riciclo per essere efficaci richiedono quantità di materiali, che sono disponibili solo in un bacino sovra-regionale.

2. Bioplastiche

Le bioplastiche costituiscono una famiglia di plastiche di origine organica e rinnovabile, ovvero derivate da biomasse, e in base alla loro biodegradabilità possono essere definite come non biodegradabili, biodegradabili o biodegradabili e compostabili.

Le bioplastiche sono utilizzate in un numero crescente di settori e in continua diversificazione: imballaggi, prodotti per la ristorazione, elettronica di consumo, automotive, agricoltura, orticoltura, giocattoli, tessuti, ecc.

Attualmente, le bioplastiche rappresentano meno dell'1% di tutte le plastiche prodotte annualmente a livello mondiale, pari a circa 2,11 milioni di tonnellate, di cui circa 1,2 milioni di tonnellate biodegradabili e circa 0,9 milioni non biodegradabili (European Bioplastics, dati 2019) [8]. Si stima che la capacità di produzione globale di bioplastiche sia destinata ad aumentare fino a raggiungere circa 2,43 milioni di tonnellate nel 2024, con un incremento di circa il 15% in cinque anni (dati European Bioplastics, 2019) [8]. In particolare, la produzione di plastiche biodegradabili dovrebbe passare da 1,17 a 1,33 milioni di tonnellate, mentre quelle non biodegradabili dovrebbero aumentare da 0,94 a 1,09 milioni di tonnellate. L'industria italiana delle plastiche biodegradabili e compostabili è rappresentata da 275 aziende, 2.645 addetti dedicati, 101.000 tonnellate di manufatti compostabili prodotti con un fatturato complessivo di 745 milioni di euro, (dati Assobioplastiche, 2020) [9].

L'utilizzo delle bioplastiche è considerata una possibile alternativa a quello delle plastiche di origine fossile, che può produrre una molteplicità di effetti positivi sull'economia globale delle plastiche: 1) ridurre la pressione sull'utilizzo di risorse fossili petrolifere, 2) introdurre nei materiali plastici nuove funzionalità intrinseche, come ad esempio la biodegradabilità in ambienti controllati dall'uomo, come i siti di compostaggio domestico o industriale, oppure in ambienti aperti come terreni ed acque dolci o marine; 3) favorire la valorizzazione di scarti organici (agricoli, alimentari, municipali o industriali) per la

produzione di materiali a valenza commerciale, evitandone il semplice smaltimento senza recupero di valore.

In alcuni casi specifici lo sfruttamento delle proprietà peculiari di alcune classi di bioplastiche potrebbe portare importanti benefici economici ed ambientali; alcuni esempi sono:

- gli imballaggi primari dei cibi, che se realizzati in bioplastiche compostabili potrebbero essere trattati in riciclo organico mediante compostaggio senza necessità di pretrattamenti di pulizia dai residui di cibo, riducendo così i costi del riciclo ed eliminando il problema indotto dai residui organici sul riciclo meccanico di tali imballaggi (capsule di caffè, filtri per il tè, contenitori di succhi e passate, ecc.)
- i teli agricoli per pacciamatura biodegradabili in suolo, che lasciati sul terreno a fine coltivazione evitano la frammentazione ed il rilascio incontrollato di microplastiche durevoli nei terreni
- le attrezzature da pesca biodegradabili in ambiente marino, che potrebbero mitigare il grave problema indotto dalle cosiddette "reti fantasma" che circolano negli oceani ingabbiando pesci ed esseri viventi marini, destinandoli alla morte.

Tuttavia, il dibattito sulla circolarità e sostenibilità dell'uso delle bioplastiche è acceso, così come sono ancora da sondare in maniera approfondita i potenziali tecnici di impiego delle diverse famiglie di bioplastiche nei vari ambienti. L'impatto ambientale legato alla produzione e le effettive proprietà di biodegradabilità, con particolare riguardo a quelle nel terreno e nell'ambiente marino, sono oggetto di forte discussione, e certamente dipendenti anche dalla geografia di produzione e impiego. Infine, visto che è aumentata la consapevolezza del ruolo fondamentale giocato dal livello di conoscenza della società sulla gestione dei rifiuti plastici, bisogna evitare che si inneschi l'errata correlazione fra le bioplastiche ed il non-inquinamento ambientale, che potrebbe favorire una scarsa attenzione per il rilascio di bioplastiche (che potrebbero non essere biodegradabili) negli ambienti.

3. Plastiche: quale futuro?

La guida "Upstream innovation" della Ellen MacArthur Foundation [10] propone un approccio all'innovazione in ottica circolare per la filiera della plastica degli imballaggi e del monouso articolata in tre diverse strategie: elimination, reuse, material recirculation, focalizzate sulle innovazioni che intervengono a monte della catena del valore, nella fase di progettazione dei prodotti, nella scelta dei materiali e nella trasformazione dei modelli di business.

La prima prevede di ridurre e se possibile eliminare la plastica nei casi in cui non svolge una funzione fondamentale, oppure se svolge una funzione imprescindibile viene sostituito con un servizio analogo. La seconda strategia prevede il riuso della plastica, ovvero l'eliminazione di prodotti monouso, attraverso un'evoluzione del deposito cauzionale con prodotti riutilizzabili. Sono indicati quattro modelli: **refill at home**, gli utenti ricaricano i contenitori a livello domestico, ad esempio attraverso ricariche spedite a casa o acquistate separatamente in negozio, la proprietà del contenitore riutilizzabile è dell'utente finale che è responsabile della pulizia/igienizzazione; **refill on the go**, gli utenti finali possono ricaricare i contenitori fuori casa, ad esempio attraverso sistemi di erogazione posizionati nei punti vendita; **return from home**, l'imballaggio riutilizzabile viene prelevato a domicilio da un'impresa dedicata, ad esempio in concomitanza con la consegna di nuovi prodotti; **return on the go**, gli utenti restituiscono l'imballaggio riutilizzabile presso il punto vendita, o in una macchina automatica dedicata, la pulizia/igienizzazione in questi ultimi due casi è a carico del fornitore del servizio.

In tutti i casi, i servizi sono pienamente compatibili con sistemi di fidelizzazione del cliente; per gli ultimi due modelli sono suggeriti sistemi di deposito cauzionale.

La strategia “material recirculation” agisce a livello di progettazione e materiali in ottica di ecodesign. I materiali vengono scelti per ridurre l'utilizzo di plastica, essere riciclati attraverso il riciclo meccanico o chimico, o essere compostati nel caso delle bioplastiche compostabili.

In merito al settore agricolo e della pesca/acquacoltura ad oggi le soluzioni disponibili ed in fase di studio comprendono prodotti in materiali alternativi alle plastiche, tra cui le bioplastiche, carta, e fibre vegetali.

Se non si considera il settore degli imballaggi, che costituisce da solo il 61% dei rifiuti, tra le principali fonti di rifiuti plastici vi sono l'edilizia (6%), il settore automobilistico (5%), dei mobili (4%) e dell'elettronica (6%) [11].

Al fine di raggiungere tassi di riciclo più elevati, la Commissione Europea si sta adoperando per individuare possibili strategie per identificare la composizione chimica dei flussi riciclati, in modo da separare quelle plastiche contenenti additivi chimici pericolosi.

Per il settore dei rifiuti da costruzione e demolizione e non solo, particolarmente utile è lo sviluppo di criteri da parte della Commissione Europea per migliorare la riciclabilità della plastica all'interno del Green Public Procurement, mediante marcatura di parti in plastica di grandi dimensioni per facilitare lo smistamento e lo smontaggio, reso più agevole anche a partire dalla progettazione, così come fatto per l'Ecolabel [12].

ART-ER ha analizzato le alternative disponibili all'uso della plastica, verificando le alternative che permettono di riciclare i materiali plastici (recycle) o di riutilizzare lo stesso prodotto (reuse) [13]. L'analisi è stata svolta per il settore alimentare, Tabella E-1, e per i settori agricoltura e pesca, Tabella E-2. Soluzioni alternative sono disponibili, anche se sono solo parzialmente diffuse.

	dove si incontra la plastica	alternative - recycle	alternative - reuse
1.	bicchieri	PLA / carta	vetro / PP riutilizzabile / PC riutilizzabile
2.	cannucce	PLA / carta	acciaio
3.	piatti	PLA / carta	Ceramica / PP riutilizzabile
4.	bottiglie	PET riciclato / Alluminio (lattina)	alluminio / ceramica
5.	bicchieri per bibite calde	PLA / carta	Vetro/ ceramica
7.	miscelatori bevande	legno	acciaio
8.	coperchi bicchieri	PLA / cellulosa	
9.	cucchiaini	PLA	acciaio
10.	vaschetta o doggy bag	Cartone / PET monouso / PLA monouso / Alluminio monouso /	PP riutilizzabile
11.	pellicola	Alluminio	Cera d'api e cotone

Tabella E-1 Le soluzioni recycle e reuse – settore alimentare somministrazione alimenti e bevande, Fonte ART-ER 2021.

dove si incontra la plastica	alternative - recycle	alternative – biodegradabili
Teli da pacciamatura	Teli in LDPE	Teli in bioplastica (es. Mater Bi) Teli in iuta
Reti da pesca	Reti di Nylon (inviate a riciclo a fine vita) – produzione di fibre per tessuti.	Reti in bioplastica (es. Materi Bi)

Tabella E-2 Le soluzioni recycle e biodegradabile– agricoltura e pesca.

Al fine di offrire una panoramica più accurata delle performance ambientali dei prodotti alternativi presenti sul mercato per i tre settori, ART-ER ha realizzato alcune analisi comparative delle diverse soluzioni considerando i costi di produzione, di uso, di gestione delle differenti opzioni e materiali.

In tabella E-3 vengono confrontate diverse soluzioni per il prodotto “piatti” nel caso di 100, 500, 1000 utilizzi. I risultati mostrano un vantaggio significativo sia in termini di costo che di uso delle risorse (energia, acqua) ed emissioni per le soluzioni di riuso.

In tabella E-4 vengono confrontate diverse soluzioni per il prodotto “vaschetta o doggy bag” nel caso di 100, 500, 1000 utilizzi. I risultati mostrano un enorme vantaggio sia in termini di costo che di uso delle risorse (energia, acqua) ed emissioni per le soluzioni di riuso.

In tabella E-5 vengono confrontate diverse soluzioni per il prodotto “bottiglie” nel caso di 100, 500, 1000 utilizzi. I risultati mostrano un vantaggio sia in termini di costo che di uso delle risorse (energia, acqua) ed emissioni per le soluzioni di riuso.

Le tabelle E-6 ed E-7 confrontano diverse opzioni per i teli da pacciamatura per uso agricolo e per le reti da pesca, rispettivamente.

ANALISI PRODOTTO: PIATTI

RE-CYCLE

RE-USE

	Carta (riciclabile)	PP (riciclabile)	PLA (riciclabile)	Ceramica (riutilizzabile)	PP (riutilizzabile)
Peso unitario (gr)	14	14,5	16	400	60
Prezzo Unitario (€)	0,128	0,065	0,246	2,500	0,850
100 Utilizzi					
Costo Totale (piatto + lavaggio)	€12,80	€6,50	€24,60	€3,37	€1,72
CO2 (kg)	2,985	4,989	5,698	1,791	1,425
Energia (MJ)	52,151	125,534	83,790	25,512	25,742
H2O (m3)	0,0182	0,0277	0,1080	0,0209	0,0201
500 Utilizzi					
Costo Totale (piatto + lavaggio)	€64,00	€32,50	€123,00	€6,88	€5,23
CO2 (kg)	14,924	24,947	28,492	6,665	6,299
Energia (MJ)	260,757	627,670	418,952	107,702	107,932
H2O (m3)	0,0911	0,1384	0,5401	0,0968	0,0960
1000 Utilizzi					
Costo Totale (piatto + lavaggio)	€128,00	€65,00	€246,00	€11,27	€9,62
CO2 (kg)	29,848	49,893	56,984	12,758	12,392
Energia (MJ)	521,514	1255,340	837,904	210,439	210,670
H2O (m3)	0,1823	0,2768	1,0802	0,1917	0,1909

Tabella E-3 Analisi comparativa soluzioni recycle e reuse – settore alimentare, tipologia piatti, Fonte ART-ER 2021.

ANALISI PRODOTTO: VASCHETTA O DOGGY BAG

RE-CYCLE

RE-USE

	Cartone	PET	PLA	Alluminio	PP
Peso unitario (gr)	20,7	22	22	10	90
Prezzo Unitario (€)	0,35	0,2	0,2	0,1	2,00
100 Utilizzi					
Costo Totale (vaschetta + lavaggi)	€35,00	€20,00	€20,00	€10,00	€2,88
CO2 (kg)	4,413	9,418	7,835	4,822	1,528
Energia (MJ)	77,11	186,747	115,212	66,346	9,089
H2O (m3)	0,027	0,0567	0,1485	0,0183	0,0207
500 Utilizzi					
Costo Totale (vaschetta + lavaggi)	€175,00	€100,00	€100,00	€50,00	€6,39
CO2 (kg)	22,066	47,09	39,177	24,11	6,403
Energia (MJ)	385,548	933,737	576,059	331,73	14,279
H2O (m3)	0,1348	0,2837	0,7426	0,0913	0,0966
1000 Utilizzi					
Costo Totale (vaschetta + lavaggi)	€350,00	€200,00	€200,00	€100,00	€10,77
CO2 (kg)	44,132	94,18	78,353	48,22	12,495
Energia (MJ)	771,096	1867,474	1152,118	663,46	20,767
H2O (m3)	0,2695	0,5674	1,4852	0,1826	0,1915

Tabella E-4 Analisi comparativa soluzioni recycle e reuse – settore alimentare, tipologia vaschetta o doggy bag, Fonte ART-ER 2021.

ANALISI PRODOTTO: BOTTIGLIE

	PET (riciclabile)	RE-CYCLE		RE-USE	
		R-PET (riciclabile)	Alluminio - Lattina (riciclabile)	Alluminio (riutilizzabile)	Acciaio (riutilizzabile)
Peso unitario (gr)	11	11	4,5	57	278
Prezzo Unitario (€)	0,15	0,15	0,6	1,43	6,50
100					
Costo Totale (oggetto + lavaggio)	€15,00	€15,00	€60,00	€2,30	€7,37
CO2 (kg)	4,709	2,014	2,170	1,642	2,626
Energia (MJ)	93,150	15,754	29,856	29,818	38,982
H2O (m3)	0,0284	0,0100	0,0082	0,0206	0,0241
500					
Costo Totale (oggetto + lavaggio)	€75,00	€75,00	€300,00	€5,81	€10,88
CO2 (kg)	23,545	10,070	10,850	6,516	7,500
Energia (MJ)	465,752	78,772	149,279	112,008	121,172
H2O (m3)	0,1419	0,0500	0,0411	0,0965	0,1000
1000					
Costo Totale (oggetto + lavaggio)	€150,00	€150,00	€600,00	€10,20	€15,27
CO2 (kg)	47,090	20,140	21,699	12,609	13,593
Energia (MJ)	931,504	157,544	298,557	214,745	223,910
H2O (m3)	0,2837	0,1000	0,0822	0,1914	0,1948

Tabella E-5 Analisi comparativa soluzioni recycle e reuse – settore alimentare, tipologia bottiglie, Fonte ART-ER 2021.

Caratteristiche	LDPE	Bioplastica	Iuta
Peso per 1 mq	0,100 kg	0,100 kg	0,215 kg
Costo al mq	0,25€	1€	2€
Fine Vita	Smaltimento/Incenerimento	Si lascia sul terreno (biodegradabile)	Si lascia sul terreno (biodegradabile)
kg CO2	0,345	0,353	0,211
MJ	8,36	5,24	1,51
lt di acqua	4,1	6,8	90,3

Tabella E-6 Analisi comparativa soluzioni biodegradabili per 1mq di prodotto– settore agricoltura, tipologia teli da pacciamatura, Fonte ART-ER 2021.

Caratteristiche	Nylon (a smaltimento)	Nylon (a riciclo)	Bioplastica
Costo al kg	-	-	-
Fine Vita	Smaltimento/Incenerimento	Riciclo	Si lascia in mare (biodegradabile)
kg CO2	10,485	9,250	3,530
MJ	121,69	121,31	52,35
lt di acqua	26,3	24,5	67,5

Tabella E-7 Analisi comparativa soluzioni recycle e biodegradabili per 1 kg di prodotto– settore pesca, tipologia reti, Fonte ART-ER 2021.

4. La gestione dei rifiuti plastici in Emilia-Romagna

Nella gestione del fine vita dei rifiuti, si distinguono varie fasi: raccolta, pretrattamento, trattamento e riciclo. Oltre agli scarti generati dai singoli processi, nel caso in cui l'output finale del riciclo non sia di qualità e/o economicamente vantaggioso, i rifiuti vengono inviati a impianti di termo-valorizzazione o smaltiti in discarica. Il settore degli imballaggi è, tra tutti, il principale utilizzatore di polimeri plastici, ricoprendo circa il 40% del mercato globale. Il PET è il polimero più diffuso, con una quota del 34%. I diversi settori sono molto eterogenei per caratteristiche e materiali.

Ad esempio, nel settore automotive la plastica è presente come multimateriale (miscelando diversi materiali diversi) in diversi componenti. Tuttavia, il riciclo delle componenti dell'automobile costituite da plastiche omogenee non presenta particolari difficoltà. Al contrario, il riciclo di componenti costituiti da polimeri non omogenei richiede un'azione congiunta di centri di demolizione e riciclatori.

Per gli stessi motivi, il riciclo di componenti plastici raccolti in forma differenziata nei rifiuti urbani è molto complesso, poiché vengono miscelati diversi polimeri, spesso utilizzati in forma congiunta nei diversi prodotti. Inoltre, gli attuali sistemi di separazione di flussi di plastiche miste basati essenzialmente sulla tecnologia near-IR, sono piuttosto efficaci nel distinguere polimeri di diversa natura, ma totalmente inefficaci nella differenziazione di gradi tecnici diverso basati sullo stesso polimero, che non possono comunque essere riciclati meccanicamente in maniera congiunta.

Al contrario, il settore delle costruzioni utilizza circa un quinto delle materie plastiche prodotte ogni anno ma è responsabile solo del 5,5% dei rifiuti plastici che, nello stesso periodo, devono essere smaltiti. La ragione risiede nella vita utile dei materiali di questo settore, che, nel caso di tubi e profili, può arrivare fino a 60 anni. La quantità di rifiuti plastici generata dal settore è caratterizzata da una netta prevalenza di isolanti tubi e raccordi, pavimenti e coperture in generale.

In agricoltura, la plastica è usata principalmente per le coltivazioni in serre, la pacciamatura e l'uso di vasi e tubi per l'irrigazione.

La produzione totale di rifiuti urbani in Emilia-Romagna, negli ultimi anni è intorno a 3 milioni di tonnellate, cui nel 2018 corrisponde a una produzione pro capite di 667 kg/ab. Nel 2019, la raccolta differenziata ha riguardato 2.117.352 tonnellate di rifiuti urbani, pari al 70,9% della produzione totale, in aumento di circa 3 punti percentuali rispetto al 2018. I dati a livello regionale evidenziano che si raccolgono in modo differenziato soprattutto verde (102 kg/ ab.), carta e cartone (86 kg/ab.), umido (76 kg/ab.), legno (39 kg/ab.), vetro (41 kg/ab.) e plastica (38 kg/ab.). La frazione umida e plastica è aumentata di 5 e 3 kg/ab rispettivamente tra il 2018 e il 2019 [14].

Il sistema di raccolta tradizionalmente più diffuso per la raccolta dei rifiuti urbani indifferenziati è quello che utilizza contenitori stradali (31%), mentre con il sistema "porta a porta/domiciliare" è stato raccolto il 21%. Un ruolo importante è ricoperto dai 368 centri di raccolta, attraverso i quali viene conferito il 29% dei rifiuti raccolti in forma differenziata.

Per la frazione plastica, nel 2019 sono state raccolte in maniera differenziata 169.517 tonnellate di plastica, di queste la maggior parte, 160.778 sono state raccolte dai gestori del servizio pubblico e 8.739 sono rifiuti assimilati che i produttori hanno avviato direttamente a recupero. Complessivamente, il 44% dei rifiuti plastici viene raccolto da selezione multimateriale (plastica-metalli o plastica-vetro), il 10% viene raccolto con porta a porta, il 32% con contenitori stradali, il 5% viene avviato a riciclo come rifiuto assimilato, il resto attraverso ecomobili o altri servizi.

Sulla base delle analisi merceologiche effettuate in Regione, si può stabilire che le plastiche costituiscono circa il 11% dei rifiuti. In particolare, ARPAE ha effettuato 30 analisi merceologiche, mentre 60 sono

state fornite dai gestori degli impianti. Le analisi merceologiche non mostrano sostanziali differenze con i dati delle annualità precedenti.



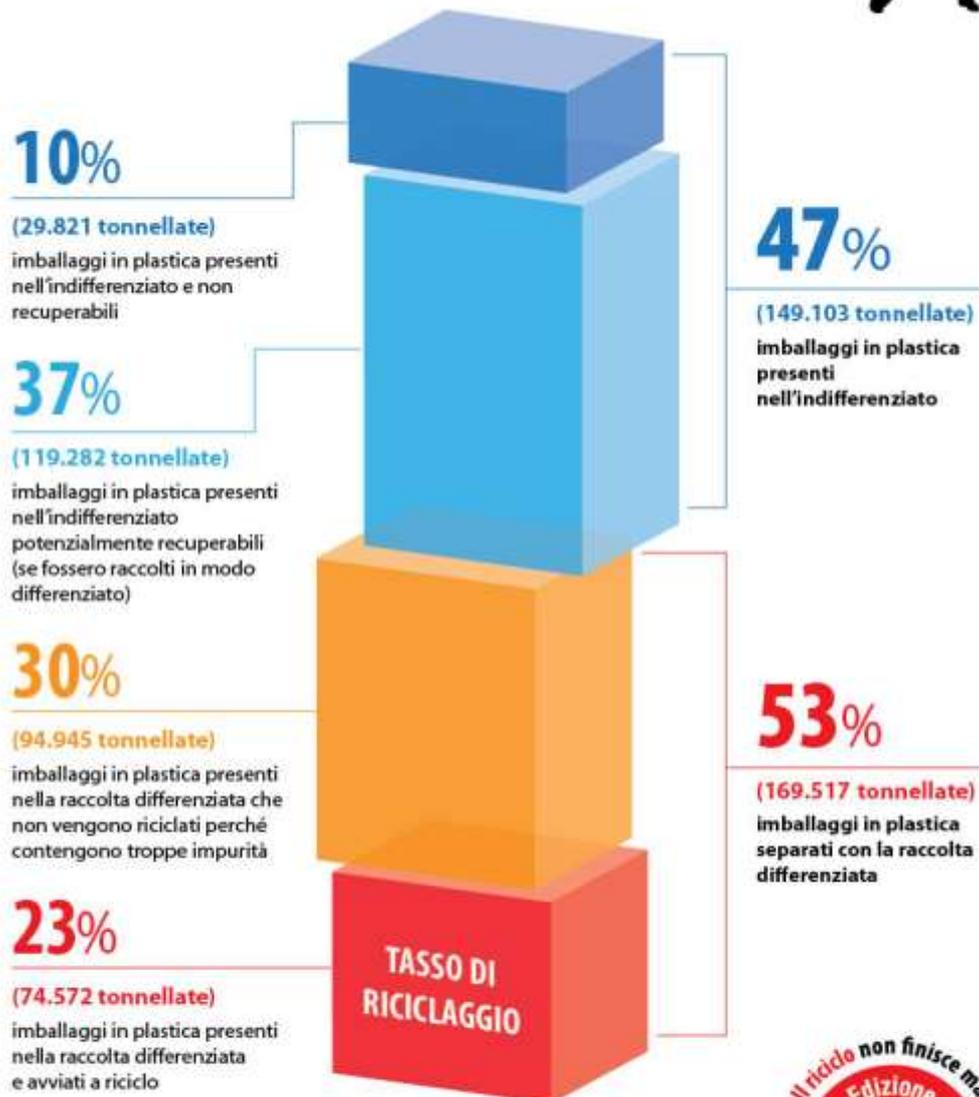
Fonte: elaborazioni Arpae sui dati provenienti dal modulo comuni dell'applicativo O.R.So., dalle analisi merceologiche di Arpae e dei Gestori degli impianti, e dal CONAI

Figura E-2 Percentuale di intercettazione delle singole frazioni di rifiuti nella raccolta differenziata e indifferenziata (Fonte La gestione dei rifiuti in Emilia-Romagna. Report 2020).

Le analisi merceologiche permettono di verificare le prestazioni dei sistemi di raccolta differenziata. Quasi il 50% dei rifiuti plastici da imballaggio non viene raccolto in forma differenziata e finisce nel residuo secco, di cui circa due terzi sarebbero potenzialmente recuperabili se raccolti in modo differenziato. Quindi, un sistema di raccolta differenziata di qualità potrebbe aumentare la quantità di materiale plastico avviata a riciclo di oltre il 60% [15].

318.620
le tonnellate di imballaggi in plastica
gettate in Emilia-Romagna nel 2019

Segui le modalità di
raccolta del tuo Comune!



**Non lavare le vaschette prima di buttarle:
basta svuotarle**

13

Figura E-3 Destinazione finale dei rifiuti plastici in Emilia-Romagna (Fonte: Chi li ha visti? dati 2019, Regione Emilia-Romagna, Arpae, CONAI).

La modalità di raccolta appare decisiva per aumentare la qualità del materiale raccolto e ridurre la frazione estranea. In un solo anno, dal 2019 al 2020, la quantità di plastica raccolta è diminuita, tuttavia la frazione

estranea ovvero i materiali non plastici presenti nella raccolta dedicata sono diminuiti da una media di 28.21% a 9.46%.

La nuova disciplina comunitaria per la responsabilità estesa al produttore (D.Lgs. 116/2020 che recepisce le direttive europee 851 e 852/2019) fornisce una significativa leva economica alla trasformazione della raccolta differenziata degli imballaggi plastici. In accordo alla nuova disciplina, i produttori di imballaggi plastici dovranno coprire i costi di raccolta, trattamento e smaltimento eco-compatibile.

5. Impianti di trattamento, recupero e smaltimento

Il riciclo delle plastiche è oggetto di crescente attenzione per le significative potenzialità di miglioramento e per il contributo importante che esso può dare alla corretta gestione e valorizzazione dei rifiuti di plastica. La varietà di tipologie, la progettazione di prodotti sempre più complessi, l'uso di additivi e la qualità della plastica riciclata sono ancora oggi tuttavia delle criticità rilevanti per il mercato delle materie prime seconde.

Il riciclo si effettua sia su rifiuti pre-consumo, quindi generalmente quelli derivanti direttamente dalla filiera industriale, sia su quelli post-consumo, al fine di ottenere una materia prima seconda, la cui qualità può essere anche estremamente variabile.

A seconda del tipo di processo si distinguono riciclo meccanico e riciclo chimico.

Il trattamento meccanico è il più comune e consiste in una serie di fasi costituite da selezioni, tritrazioni, macinazioni, addensamenti, lavaggi, in modo da ottenere una materia seconda granulare da sottoporre a fusione, estrusione e produzione di polimero riciclato. Tale processo è oggi ampiamente consolidato e presenta una buona efficienza per i rifiuti industriali, mentre per i rifiuti urbani può esserci un ampio margine di miglioramento soprattutto in fase di selezione così da arrivare a un riciclo di maggior valore di polimeri omogenei, privi di materiali indesiderati quali inerti, metalli o additivi.

5.1 Riciclo meccanico

Il riciclo meccanico è una possibile via di valorizzazione che implica minimi requisiti di lavorabilità del materiale.

La qualità dei prodotti ottenuti sarà fortemente dipendente dalla qualità della selezione operata sul rifiuto differenziato. L'industria del settore tenta di migliorare continuamente, per questo motivo, le tecniche di selezione dei materiali di riciclo, con particolare riferimento ai prodotti post-consumo al fine di ottenere frazioni sempre più "pulite" di materiali omogenei. D'altra parte, il riciclo meccanico degli sfridi di lavorazione, ovvero dei termoplastici provenienti dal circuito industriale, è una attività consolidata da tempo.

A seconda della tipologia di rifiuto plastico recuperato, e avviato al processo di riciclo meccanico, si possono ottenere:

- dai polimeri termoplastici macinati, granuli o scaglie, da utilizzare nella produzione di materie prime seconde da utilizzare per nuovi manufatti;
- dai polimeri termoindurenti macinati, delle frazioni di materiale utilizzabili come cariche inerti nella lavorazione di polimeri termoindurenti/termoplastici vergini, o riempitivi per altri prodotti poiché non possono essere rilavorati essendo infusibili.

In particolare, il processo di riciclo può essere omogeneo o eterogeneo.

Il riciclo eterogeneo viene effettuato attraverso la lavorazione di un materiale misto contenente principalmente frazioni poliolefiniche (PE, PP, PS), PVC e PET, ed eventualmente anche frazioni di altri polimeri. Questo misto di plastiche destinate al riciclo meccanico congiunto è generalmente ottenuto per selezione mediante spettrometri all'infrarosso (Near-IR) da un flusso in ingresso di composizione ancora più complessa e variegata. In questo materiale misto possono essere presenti, anche se in quantità minime, residui inerti, altri materiali da imballaggi come, ad esempio, la carta e residui metallici.

Il processo di selezione avviene su base morfologica e dimensionale, spettroscopica e quindi magnetica, per allontanare eventuali frazioni estranee che potrebbero creare problemi in fase di lavorazione. Queste tre separazioni vengono eseguite in maniera più o meno spinta in base alla lavorazione e al prodotto che si vuole realizzare.

Successivamente il riciclo procede secondo tre fasi:

- triturazione, ovvero frantumazione grossolana del materiale;
- densificazione, ovvero consolidamento dei frantumi plastici senza apporto di calore dall'esterno, sfruttando il calore generato dal frizionamento delle particelle, fra le quali si forma un collo per diffusione atomica,
- estrusione, ovvero miscelazione in fuso delle plastiche finalizzata all'ottenimento di un filamento che viene poi granulato.

In base alla lavorazione e al prodotto che si vuole ottenere, si potranno eseguire tutte le fasi o solamente alcune: ad esempio si potrà tritare il materiale e successivamente densificarlo oppure, una volta tritato il materiale potrà essere direttamente estruso. Le difficoltà presenti nel riciclo eterogeneo sono legate alle differenti temperature di lavorazione dei polimeri miscelati, nonché alla loro scarsa compatibilità termodinamica che può rendere difficile o addirittura impossibile ottenere un materiale finale omogeneo con prestazioni fisico-meccaniche idonee all'uso industriale. Il risultato del riciclo meccanico di plastiche miste è infatti sempre una miscela polimerica, la cui variabilità di composizione implica spesso problemi di riproducibilità e stabilità delle proprietà tecniche del riciclato che si ottiene in lotti diversi.

L'immiscibilità delle componenti polimeriche in miscela può essere mitigata attraverso l'aggiunta di opportuni compatibilizzanti in fase di estrusione e rigranulazione; questi sono agenti che nella miscela polimerica hanno il ruolo di migliorare l'adesione interfacciale dei domini delle singole plastiche, promuovendo un'omogenea distribuzione e la generazione di morfologie stabili. Gli additivi compatibilizzanti sono solitamente copolimeri a blocchi o polimeri reattivi funzionalizzati, opportunamente selezionati in base alla composizione della miscela di plastiche da riciclare in maniera congiunta. Il problema pratico che si incontra nell'uso di questi agenti, al di là del costo non trascurabile che implicano, è la variabilità composizionale dei flussi di plastiche in ingresso, che rende poco standardizzabile l'additivazione e la formulazione chimica dei riciclati.

Il problema della ridotta compatibilità termodinamica dei polimeri in miscela e le conseguenti scarse proprietà meccaniche (resistenza, duttilità e tenacità) dei riciclati misti escludono quindi di fatto la possibilità d'impiego di questi materiali per la realizzazione di manufatti di geometria complessa o che presentano spessori minimi, o anche solo semplicemente per processi tecnologici veloci.

Il problema dell'incompatibilità delle plastiche miste viene ovviato dal riciclo omogeneo di polimeri termoplastici selezionati. La selezione si realizza con un processo di separazione che assicura che non vi siano presenti altri polimeri, materiali inerti, cariche o additivi in quantità tale da pregiudicare l'omogeneità chimica e morfologica del materiale riciclato.

La separazione del polimero avviene dopo la fase di raccolta mediante uno e più dei seguenti metodi combinati fra loro:

- Individuazione spettroscopica (Near-IR)
- Separazione magnetica degli eventuali residui metallici.
- Separazione per flottazione.
- Selezione tramite flussi d'aria.
- Separazione elettrostatica.

La separazione per flottazione in acqua è il metodo di separazione di massa più semplice ed economico; le poliolefine (PP e PE) galleggiano mentre la frazione che affonda è composta principalmente da PET, PP caricato con talco, PS e PVC, con possibili frazioni minori anche di PMMA, ABS, PC e PA. La frazione complessa a densità maggiore è spesso mandata al recupero energetico, poiché difficile ed onerosa da separare ulteriormente.

Ne risulta che il riciclo omogeneo di plastiche post-consumo trova quasi esclusiva applicazione nei casi di PE, PP e PET, quest'ultimo facilmente individuato dai metodi spettroscopici Near-IR e separato mediante flusso d'aria. Nel caso di plastiche singole residue da processi industriali, come ad esempio gli sfridi di produzione, il riciclo omogeneo è ovviamente semplificato poiché non si pone la complessa questione del riconoscimento e separazione delle diverse tipologie di plastiche.

Dopo la separazione i polimeri omogenei vengono trattati attraverso le seguenti fasi:

- Triturazione
- Lavaggio
- Essiccamento
- Granulazione con possibile riformulazione degli additivi stabilizzanti.

Il materiale ottenuto da un processo di riciclo meccanico omogeneo, pur essendo solitamente caratterizzato da proprietà reologiche e fisico-meccaniche adeguate ad un utilizzo industriale, non offre comunque identiche prestazioni rispetto al materiale vergine, fatta eccezione per il PET da bottiglie che seguendo processi certificati di riciclo, ne raggiunge invece gli stessi livelli prestazionali.

Lo scadimento delle proprietà, che può essere modesto in certi casi e più marcato in altri, è una conseguenza della riduzione della lunghezza delle catene polimeriche o loro alterazione (ad es. ossidazione, o reticolazione) a seguito della rilavorazione del polimero in fuso. A tale abbassamento di proprietà contribuisce anche la degradazione, pressoché incommensurabile, che i materiali avevano subito durante la loro vita d'uso, che ha generato composti a basso peso molecolare e contaminanti volatili ossigenati per frammentazione delle catene a seguito dell'esposizione ambientale delle plastiche, che durante il riciclo in fuso diffondono nella massa polimerica alterandone le qualità.

Alcune filiere specifiche, come i rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche ed i veicoli a fine vita d'uso, offrono interessanti scenari di recupero di plastiche singole di tipo tecnico, non poliolefinico, come ABS, PC, HI-PS e miscele ABS/PC. Queste miscele di plastiche sono separabili nelle singole componenti polimeriche in maniera efficace attraverso flottazione in liquidi densi, che solitamente altro non sono che soluzioni saline in mezzo acquoso, quindi economiche e di semplice gestione industriale. Nonostante l'inevitabile scadimento delle proprietà dei riciclati rispetto ai rispettivi polimeri vergini, il valore intrinseco di queste plastiche tecniche rimane elevato, così come la loro potenzialità di applicazione.

Inoltre, le perdite del processo di selezione e riciclo sono elevate. Nel 2014, in Europa sono stati avviati a riciclo 6.2 milioni di tonnellate, su un totale di 16.7 milioni di tonnellate di rifiuti plastici. Di questi rifiuti plastici, 2.8 milioni di tonnellate sono stati esportati, e solo 2.2 milioni di tonnellate sono stati effettivamente riutilizzati come materie prime seconde. Ovvero, solo il 35% dei 6.2 milioni di tonnellate avviati a riciclo è stato effettivamente riutilizzato come materia prima seconda [16].

5.2 Riciclo chimico

Per la loro complessità, i rifiuti plastici non sempre possono essere trattati con i processi di riciclo meccanico. Si stima che i rifiuti plastici siano il 10% dei rifiuti urbani e siano composti di contenitori per bottiglie (CPL) 27%; plastiche morbide 36%; plastiche rigide 11%; plastiche non riciclabili 26% [17].

Il riciclo chimico assume definizioni che variano a seconda della geografia, e questo talvolta può indurre una certa confusione.

La definizione di "riciclo chimico" in Europa è oramai univoca ed allineata alle definizioni di "riciclo" riportate nella EU Waste Framework Directive, che quindi la includono.

Il riciclo chimico è definito come ogni tecnologia di riprocesso che influisce direttamente sulla formulazione del rifiuto plastico o sul polimero stesso, convertendoli in sostanze chimiche e/o prodotti (inclusi monomeri ed oligomeri), che possono essere impiegati per la produzione dei materiali originari o per usi completamente diversi, che però escludono il recupero di energia.

L'uso del prodotto del riciclo chimico come carburante in Europa è quindi escluso dalla definizione di riciclo chimico.

Questa definizione spesso solleva questioni riguardo alla più corretta classificazione della pirolisi di plastiche come processo di riciclo chimico, poiché il trattamento pirolitico che prevede la degradazione delle strutture polimeriche in condizioni di alta temperatura ma senza ossigeno, restituisce un olio idrocarburico (miscela complessa di idrocarburi) che può essere sia raffinato per separarlo in frazioni omogeneo, oppure utilizzato come tale per la generazione di energia (ovvero come carburante).

Sebbene ci sia un allineamento europeo sulle definizioni, le regolamentazioni europee risentono di quelle di altre regioni, come ad esempio del Nord America, in cui il "riciclo avanzato", usato come sinonimo di "riciclo chimico", include applicazioni per carburanti e generazione di energia, a differenza dell'Europa.

Il riciclo chimico può certamente contribuire al raggiungimento degli obiettivi globali di economia circolare fissati dal Green Deal, poiché offre strategie di largo impiego per trasformare i rifiuti plastici in prodotti chimici di interesse industriale, tenendoli quindi in circolo senza smaltirli, evitando l'incenerimento di frazioni altrimenti non valorizzabili.

Quindi il riciclo chimico può contribuire in modo fondamentale alla Strategia EU per la Sostenibilità dei Prodotti Chimici, che ambisce a prevenire o minimizzare la presenza di sostanze pericolose e dannose nei materiali riciclati per promuovere un'economia delle plastiche di riciclo sicure e sostenibili, essendo in grado di eliminare tali sostanze chimiche dai riciclati.

Il riciclo chimico può potenzialmente coprire tutte quelle plastiche che, per ragioni tecniche o economiche, non risultano riciclabili per via meccanica, e in particolare offre una soluzione efficace nel caso di plastiche miste, contaminate o multimateriale. È quindi una soluzione complementare al riciclo meccanico, poiché può essere sfruttato per trattare una gamma più ampia di rifiuti plastici che sarebbero inadatti al riciclo meccanico.

Nel riciclo chimico si perde la connotazione del rifiuto plastico come "materiale", per ricondurlo a quella di prodotto chimico, risolvendo così alcune problematiche principalmente connesse alla qualità del materiale riciclato ottenuto. Col riciclo chimico si possono ottenere sostanze chimiche di base, ovvero molecole di diversa struttura, direttamente utilizzabili nei più svariati processi industriali come materie prime, solventi, diluenti, plasticizzanti ed altro. Le molecole ottenute possono anche essere reimpiegate come materie prime nella stessa industria dei polimeri, garantendo la rinascita di polimeri identici a quelli ottenuti da materie prime vergini di origine fossile.

Il riciclo chimico non può comunque assorbire qualsiasi tipo di rifiuto plastico in ingresso, o almeno questo non sarebbe sensato né sostenibile per plastiche che hanno una chiara ed economicamente

valevole opzione di riciclo meccanico. In aggiunta, diverse tecnologie di riciclo chimico hanno specifiche precise per il rifiuto plastico in ingresso. Sebbene le varie opzioni di processo possano coprire diversi flussi di plastiche ed agire in maniera complementare, al momento non c'è la possibilità tecnica di trattare qualsiasi tipologia di rifiuto plastico non assorbita dalla filiera del riciclo meccanico. Tali specifiche del rifiuto plastico in ingresso sono richieste per assicurare al riciclo chimico sostenibilità economica, ambientale, ed il raggiungimento di alte rese. È quindi necessario che si lavori intensamente sull'eco-design dei prodotti, per garantire che i materiali plastici di cui sono costituiti possano rientrare efficacemente nelle filiere del riciclo meccanico o di quello chimico, affinché la loro gestione a fine vita d'uso sia sostenibile sia tecnicamente che economicamente.

Dal punto di vista teorico il riciclo chimico può trattare plastiche provenienti da qualsiasi settore (packaging, automotive, agricoltura, arredamento, etc.); al momento però le tecnologie sono state sviluppate principalmente per il packaging post-consumo che viene raccolto in maniera differenziata. Sono trattati per via chimica quei rifiuti plastici che, per ragioni tecniche o economiche, non vengono mandati al riciclo meccanico, e che altrimenti andrebbero al recupero energetico.

Ogni tecnologia di riciclo chimico può trattare specifici flussi in ingresso e quindi offre un modello complementare a supporto dell'economia circolare delle plastiche:

- la depolimerizzazione è dedicata a flussi molto omogenei, o mono-materiale, di plastiche selezionate: PET (bottiglie inadatte al riciclo meccanico, fibre), PA, PU, PMMA e PLA
- La pirolisi è dedicata i flussi di plastiche miste (inclusi i multistrato, i multimateriale): LDPE, HDPE, PP, PS
- la gassificazione, ovvero la conversione delle plastiche a monossido di carbonio, idrogeno ed altre sostanze gassose, è dedicata principalmente ai flussi complessi di plastiche miste.

Il riciclo chimico ad oggi è una realtà operativa, pur non avendo raggiunto elevati livelli di implementazione. Ci sono già alcuni impianti funzionanti con diverse tecnologie in Europa, per lo più in scala pilota o di piccola taglia industriale. Diversi dei loro prodotti sono registrati al REACH e sono entrati in pieno sfruttamento commerciale. Le tecnologie di riciclo chimico sono comunque in rapida evoluzione e significativi progressi sono attesi nei prossimi 5-10 anni.

Per tutti i processi di riciclo chimico, la resa varia sulla base della composizione e contaminazione del rifiuto plastico in ingresso. Il riciclo chimico si fonda ancora su una buona selezione dei materiali in entrata, per garantire le giuste specifiche tecniche ai flussi di alimentazione dei processi.

Allo stato attuale si possono considerare le seguenti rese dei processi principali:

- pirolisi: 70-80%
- depolimerizzazione: circa 90%
- liquefazione idrotermale (*): circa 85%

(*) Questo processo si basa sull'utilizzo di *acqua supercritica*, ovvero acqua in uno stato fisico particolare, che si raggiunge quando la sua temperatura è di almeno 374 °C e fino a 500 °C e la pressione di 22,1 Megapascal (106 pascal, l'unità di misura della pressione nel Sistema internazionale), quasi come quella di un surriscaldatore che alimenta una turbina a vapore. In questo stato l'acqua riesce ad agire sui polimeri della plastica e il polipropilene viene convertito in un olio, composto da idrocarburi liquidi, e trasformato in nafta. Questo processo è ancora in scala pilota.

Il riciclo chimico è una delle possibili soluzioni per ridurre l'impatto sull'ambiente dei prodotti plastici. L'economia della plastica è oggi prevalentemente lineare: solo il 14% dei rifiuti plastici viene avviata a riciclo, e la quota di materiale effettivamente riutilizzato per nuovi prodotti è ancora inferiore, figura E-4 [20]. Infatti, in accordo a un recente studio di McKinsey [4], a livello globale solo 1% dei prodotti plastici

viene riutilizzato come materia prima seconda, figura E-1. In Europa, il 13% dei rifiuti plastici viene riutilizzato come materia prima seconda [16].

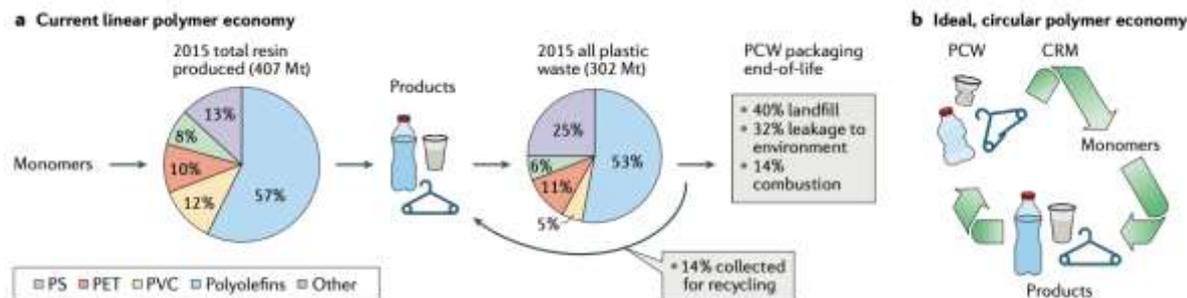


Figura E-4 Economia della plastica lineare (a); modello ideale (b) [19].

Il modello ideale della Figura E-4, oltre a evidenti vantaggi ambientali, ridurrebbe l'impatto sulle materie prime e porterebbe a un rilevante vantaggio economico: oggi il 95% del valore dei prodotti plastici monouso viene perso ogni anno, per un valore economico di circa 100 miliardi di dollari [20].

Tuttavia, il modello ideale è ancora lontano dal mercato per vari motivi. Le tecnologie disponibili per il riciclo chimico operano con una resa superiore al 90% per il PET, mentre hanno prestazioni molto scarse per PVC, e poliolefine (PE, PP) [20]. Poiché questi polimeri costituiscono la frazione maggioritaria dei prodotti plastici immessi a consumo (Figura E-5 [21]) e dei rifiuti plastici (Figura E-6 [20]), il riciclo chimico è per ora una soluzione non pronta per il mercato.

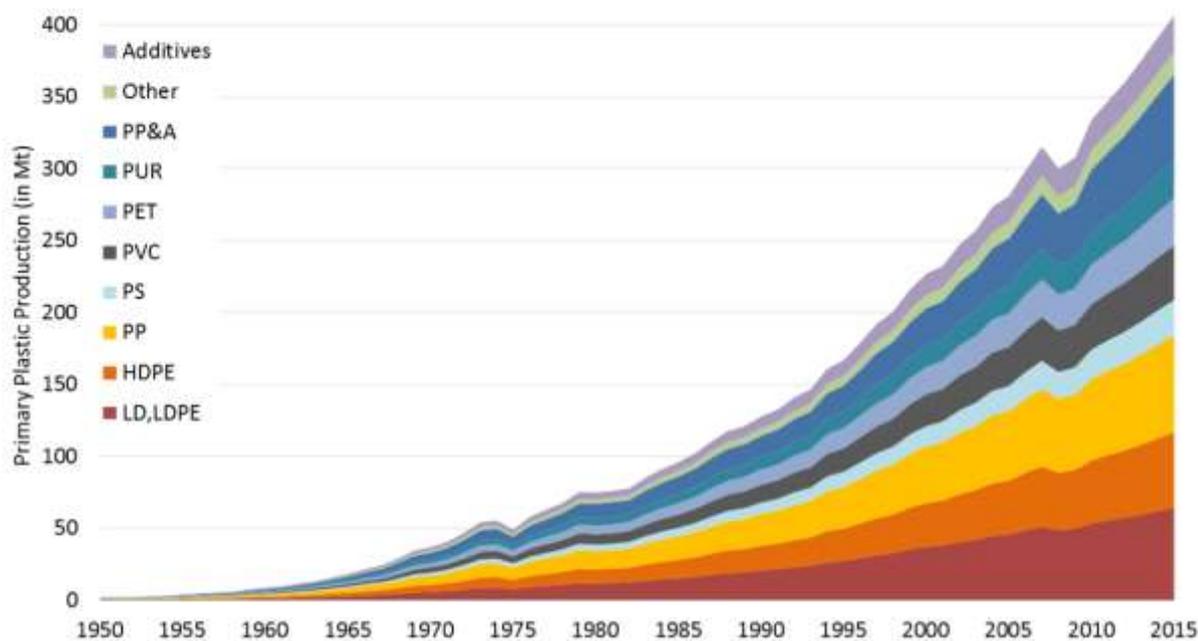


Figura E-5 Produzione globale di prodotti plastici per tipo di polimero dal 1950 al 2015 [20].

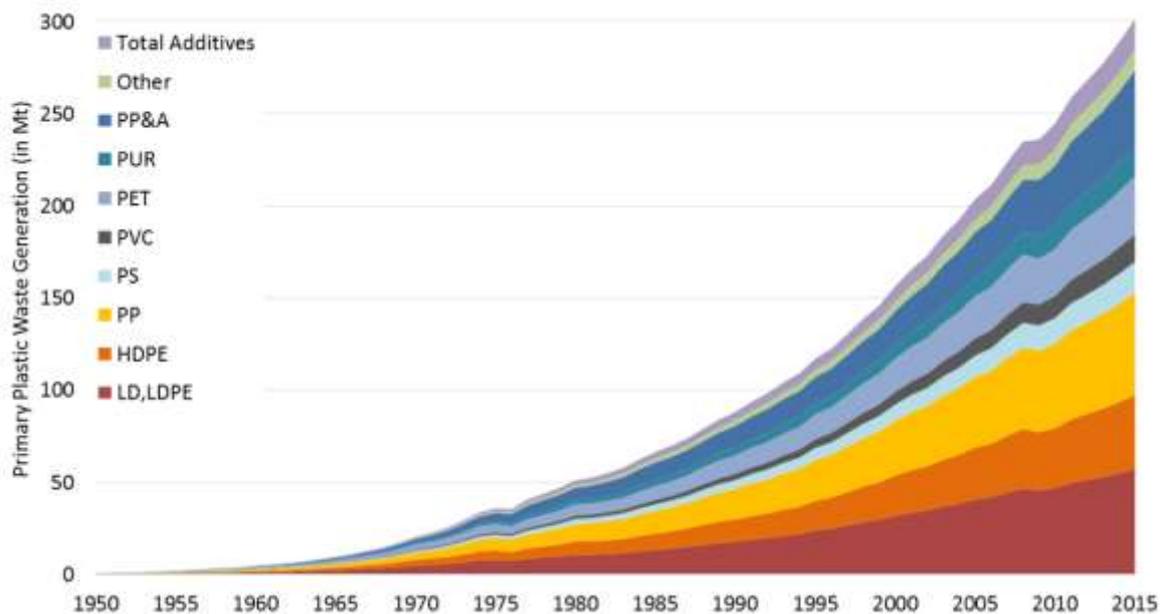


Figura E-6 Produzione globale di rifiuti plastici per tipo di polimero dal 1950 al 2015 [20].

Queste difficoltà si riferiscono al trattamento dei singoli polimeri e la fattibilità del riciclo chimico per un flusso di rifiuti reali è ulteriormente limitata dalla presenza di rifiuti organici, additivi, ritardanti di fiamma, e di prodotti composti da una miscela di polimeri.

In questo contesto, è necessario un'azione globale di tipo olistico: è necessario ri-progettare i prodotti plastici, sostituendo i polimeri con bassa resa di riciclo chimico (eg poliolefine), è necessario migliorare la raccolta differenziata di qualità anche attraverso la classificazione post-consumo dei materiali, come How2Recycle [22], RecyClass [23]. Infine, è necessario investire nelle tecnologie per il riciclo chimico.

6. Recupero energetico

Dai processi di riciclo meccanico degli imballaggi in Plastica vengono generati anche scarti, denominati comunemente “Plasmix”, principalmente da avviare al recupero energetico, evitando il conferimento in discarica. Nella maggior parte dei casi, il Plasmix viene trattato in appositi impianti di trattamento che, oltre a valorizzare eventuali frazioni ancora riciclabili, lavorano il materiale riconducendolo a specifiche tecniche idonee all'utilizzo come combustibile solido secondario (CSS), vedere figura E-7.

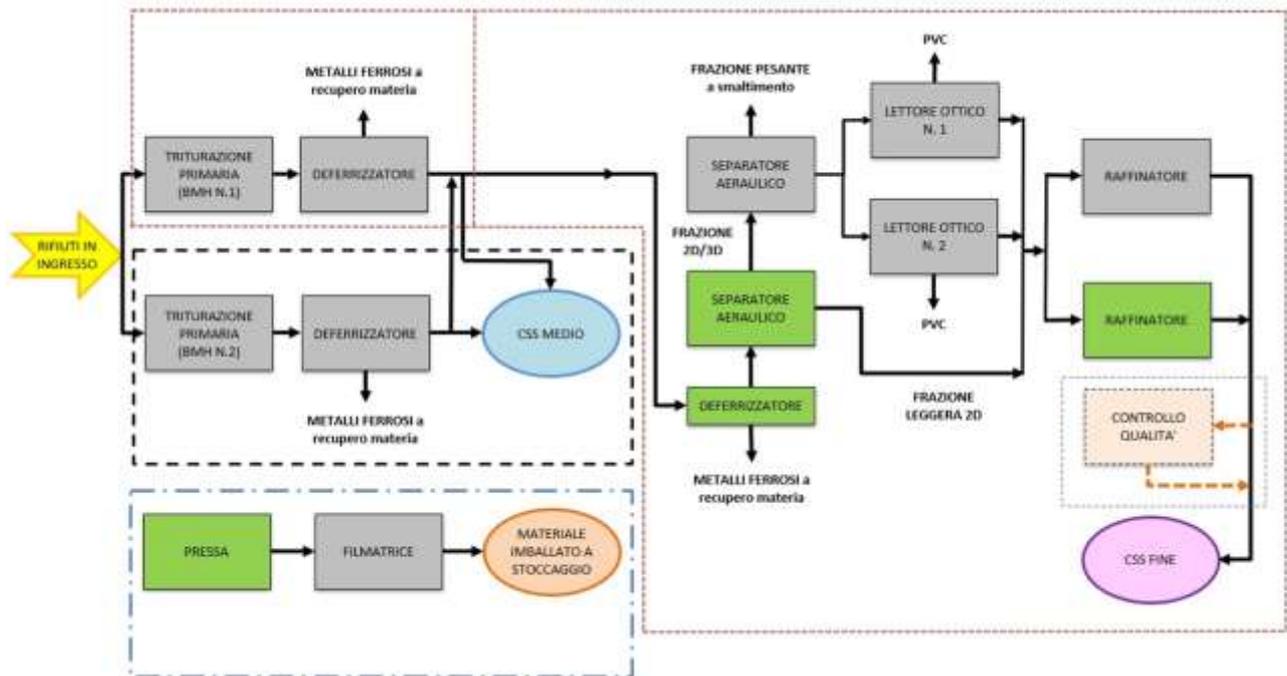


Figura E-7 Schema a blocchi del sistema di trattamento dei rifiuti plastici (Fonte: Herambiente).

Il combustibile solido secondario trova destinazioni differenti in base alla pezzatura, in conformità alla norma UNI 15359:

- CSS fine (pezzatura inferiore a 30 mm) destinato prevalentemente a recupero presso cementifici.
- CSS medio (pezzatura inferiore a 120 mm) destinato a recupero presso termovalorizzatori e cementifici.
- CSS grossolano (pezzatura inferiore a 300 mm) destinato prevalentemente a recupero presso termovalorizzatori.

Gli impianti che producono energia utilizzando il CSS derivante dagli scarti del trattamento della Plastica, tendono sempre a bilanciare il potere calorifico dei diversi materiali, creando un *blending* ottimale per garantire la migliore condizione di stabilità dell'efficienza della combustione.

Il compostaggio, o riciclo organico, è un processo aerobico, volto a convertire, attraverso condizioni controllate e per opera di microrganismi, i rifiuti organici in compost, un fertilizzante e ammendante prezioso in agricoltura. Mediante questo processo viene conferito un valore economico aggiunto ai rifiuti organici e viene realizzata una loro completa trasformazione, in un'ottica di economia circolare.

Oltre ai tradizionali rifiuti organici (scarti vegetali, umido da raccolta differenziata domestica, scarti agroindustriali, fanghi di depurazione urbani e industriali, deiezioni zootecniche, ecc.), nell'ultimo periodo si sono aggiunte, negli impianti industriali di compostaggio, anche le bioplastiche compostabili, che possono offrire cinetiche di degradazione compatibili con il trattamento delle altre categorie di rifiuti organici. Per garantire il corretto trattamento, i prodotti in bioplastica biodegradabili e compostabili devono riportare la certificazione di conformità alle norme tecniche (UNI EN 13432:2002, nel caso di imballaggi, e UNI EN 14995:2007 per gli altri prodotti). In queste norme vengono definiti i requisiti, in particolare biodegradazione, disintegrazione, assenza di effetti negativi sul processo di compostaggio e qualità del compost, che le plastiche devono possedere per poter essere recuperabili mediante compostaggio e biodegradazione. La certificazione garantisce che il prodotto possa essere compostato industrialmente.

Tuttavia, ad oggi le bioplastiche compostabili non possono essere efficientemente trattate in impianti anaerobici di trattamento della frazione organica. Gli impianti di compostaggio più significativi presentano una fase anaerobica preliminare, volta alla produzione di biogas, e sono considerati i più avanzati tecnologicamente e quelli che permettono cicli più rapidi di trasformazione dei rifiuti. È quindi necessario pensare a soluzioni dedicate per la raccolta, l'adeguata selezione e le modalità di trattamento delle bioplastiche biodegradabili compostabili.

7. Scenari a confronto

La gestione dei rifiuti plastici può avvenire in diversi modi con diverse tecnologie di selezione e trattamento. In [17] è stato sviluppato un confronto di prestazioni tra diversi scenari di riferimento. Il confronto è basato sull'analisi di ciclo di vita, usando gli strumenti EASEWASTE [18] and EDIP [19] (EDIP è un metodo di analisi di ciclo di vita danese, sviluppato per prodotti industriali).

L'analisi confronta quattro scenari e una "baseline", descritti nella tabella E-8.

	Raccolta	Selezione	Trattamento
P0	Nessuna raccolta differenziata (baseline)	10% dei rifiuti plastici vengono trattati con MBT (trattamento meccanico biologico).	90% a incenerimento.
P1	RD solo CPL, con resa intercettazione 80%. In totale, 22% dei rifiuti plastici vengono selezionati alla fonte.		PET e HDPE vengono riciclati meccanicamente (riciclo omogeneo). Il 78% dei rifiuti plastici, oltre agli scarti del riciclo meccanico vengono avviati a incenerimento.
P2	RD di tutta la plastica, con resa intercettazione 80% per le bottiglie, 50% tutto il resto. In totale, 58% della plastica viene selezionata alla fonte.		PET, HDPE e poliolefine vengono riciclati meccanicamente (riciclo omogeneo). Il plasmix e la plastica non separata alla fonte vengono trattati con inceneritori o come combustibile per cementifici.

<p>P3</p>	<p>Raccolta multimateriale. Resa 80% per CPL, 30% tutto il resto. In totale, 43.5% della plastica viene selezionata alla fonte.</p>		<p>80% CPL viene riciclato. La resa del riciclo per le altre frazioni è pari al 20%. Il rimanente viene trattato con inceneritori.</p>
<p>P4</p>	<p>Nessuna raccolta differenziata. Separazione meccanica delle plastiche dall'indifferenziato (RW).</p>		<p>CPL vengono separate con buona efficienza e vanno a riciclo meccanico. Il plasmix va a incenerimento o cementifici.</p>

Tabella E-8 Scenari alternativi per il trattamento dei rifiuti plastici (Fonte [17]).

I risultati sono riportati nelle figure E-8, E-9, E-10 che riportano l'impatto climatico, l'acidificazione e l'impatto sui nutrienti organici, rispettivamente. Gli impatti ambientali sono riportati in PE (person equivalent) per functional unit (FU).

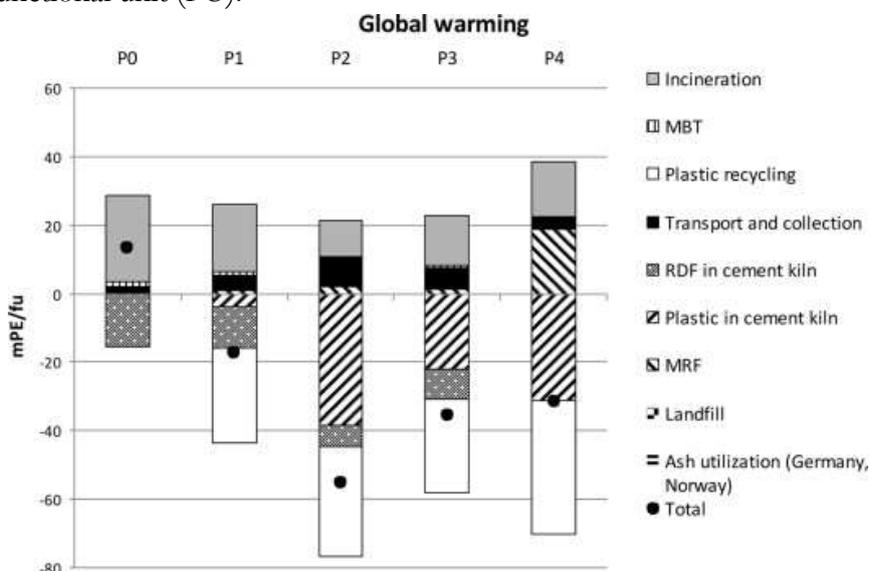


Figura E-8 Prestazioni degli scenari indicati in termini di impatto sui cambiamenti climatici (Fonte [17]).

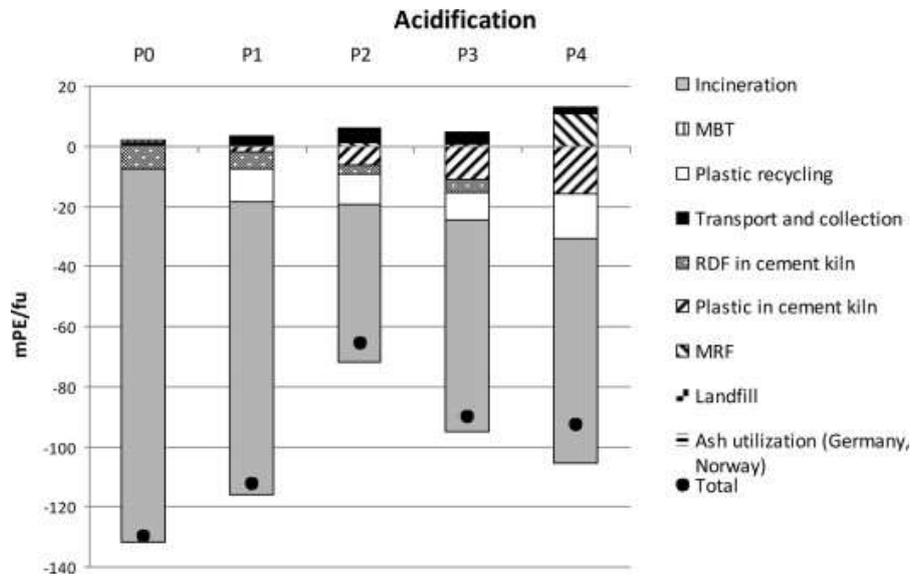


Figura E-9 Prestazioni degli scenari indicati in termini di impatto sull'acidificazione (Fonte [17]).

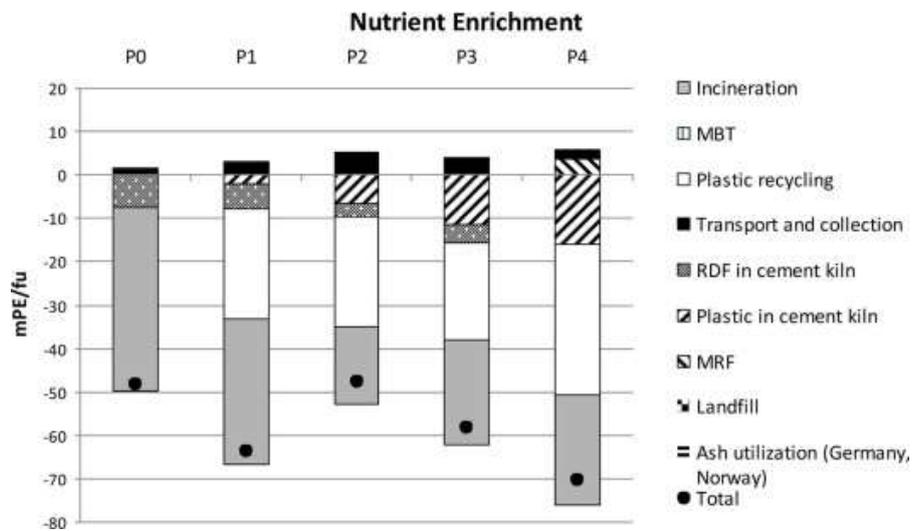


Figura E-10 Prestazioni degli scenari indicati in termini di impatto sui nutrienti organici (Fonte [17]).

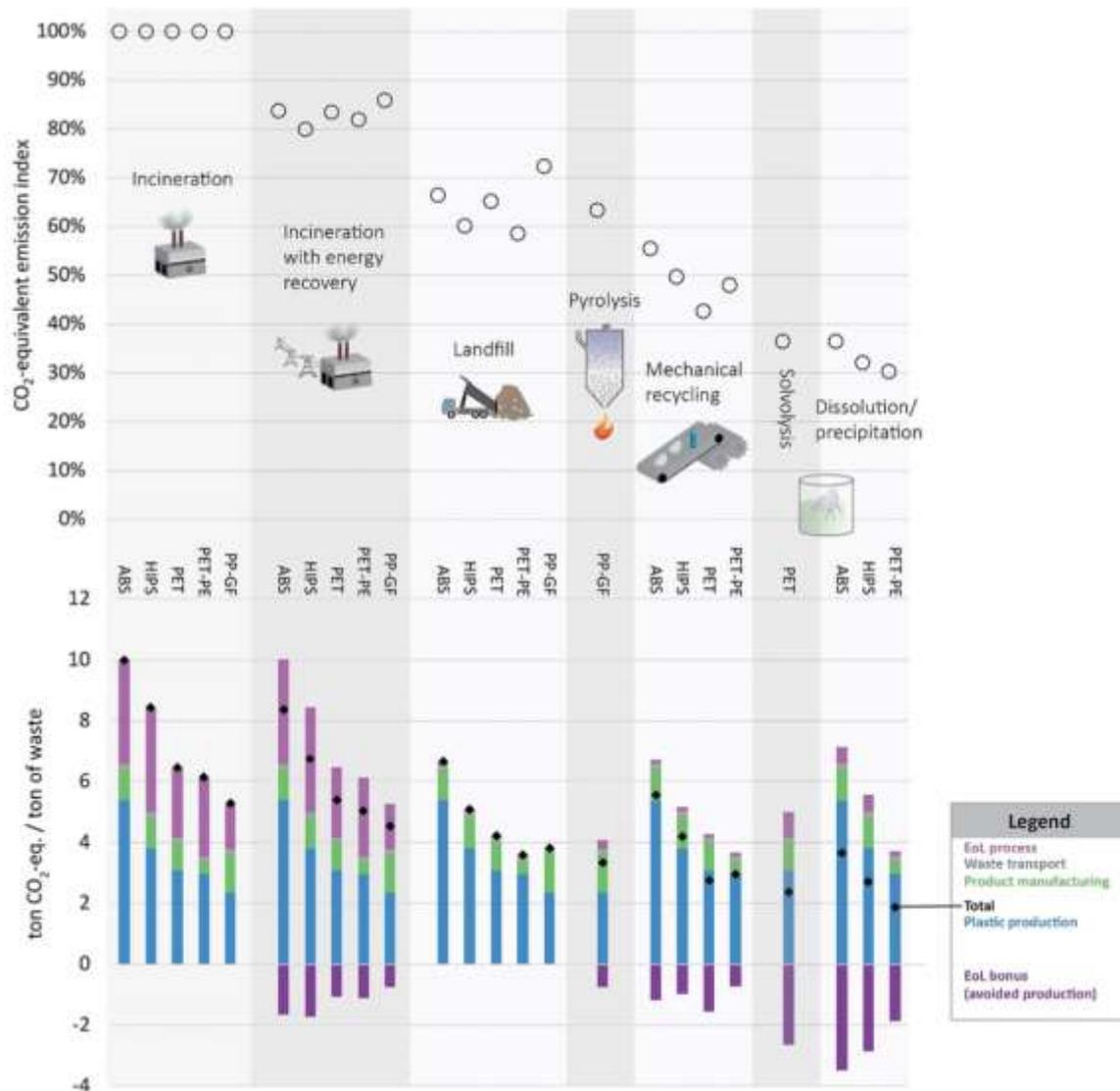


Figura E-11 Impatto sul clima di diverse tecnologie fine vita per i principali polimeri plastici (Fonte [9]).

Per quanto riguarda il riciclo chimico, le tecnologie non sono mature per il mercato, tuttavia, esistono studi preliminari che mostrano il confronto tra le tecnologie disponibili, il riciclo meccanico e il recupero energetico. In figura E-11 vengono mostrate le figure di merito in termini di impatto ambientale di queste tecnologie per i principali polimeri plastici [24].

8. Indicatori ambientali

Negli ultimi anni, le politiche europee e nazionali hanno promosso strategie per modificare il modo in cui le plastiche vengono progettate, realizzate, utilizzate e riciclate al fine di promuovere una riduzione degli impatti ambientali e sulla salute dell'uomo nell'ottica di un'economia circolare. In questo contesto, è diventato indispensabile l'uso di indicatori ambientali che consentano di quantificare e monitorare i progressi di enti, istituzioni e imprese nel raggiungimento di obiettivi di sostenibilità e che permettano di stabilire priorità nei processi di innovazione. Diventa essenziale potersi dotare di strumenti che consentano di confrontare diverse soluzioni con metodi efficienti e preferibilmente standardizzati, in grado di fornire una visione integrata sulle relazioni tra le diverse fasi del ciclo di vita delle plastiche. La

metodologia Life Cycle Assessment, è lo strumento di elezione per la quantificazione degli impatti ambientali, ma presenta ancora alcuni aspetti da chiarire. La discussione sulla scelta degli indicatori ambientali più idonei a monitorare gli effetti delle plastiche sul capitale naturale è ancora in corso e non ci sono ancora risposte univoche rispetto al problema. L'associazione europea dei produttori di materie plastiche – Plastic Europe – ha recentemente aderito alla Life Cycle Initiative¹, un'iniziativa della UNEP-SETAC che ha portato alla prima serie di indicatori di consenso quali, per esempio, il cambiamento climatico, gli impatti sulla salute, l'impoverimento delle risorse e l'impatto dell'uso del suolo. I modelli sottesi a tali indicatori permettono di monitorare non solo la combinazione di effetti sulla salute umana indotti dall'esposizione a sostanze chimiche pericolose derivate dal ciclo di vita plastica, ma anche la loro diffusione tra i vari comparti ambientali. Inoltre, tali indicatori consentono di verificare la sostenibilità dei trattamenti di riciclo, non sempre virtuosi dal punto di vista ambientale, dal momento che il valore del danno ambientale risulta essere inversamente proporzionale alla frazione riciclata. La produzione dei biopolimeri da coltivazione deve essere praticata con attenzione: essa richiede non solo l'uso di energia elettrica e termica, con un danno conseguente sulla salute umana, sui cambiamenti climatici e sulle risorse, ma anche l'uso del suolo per finalità non agricole.

Rispetto alle soluzioni identificate sono riportati a seguire alcune comparazioni di impatto ambientali tra prodotti in plastiche fossili e soluzioni alternative con approccio LCA e in linea con l'approccio elimination, reuse, material recirculation.

¹ <https://www.lifecycleinitiative.org/>

9. Conclusioni

La plastica è un materiale indispensabile grazie alle sue proprietà di resistenza, duttilità, malleabilità, lavorabilità e proprietà di isolamento, in aggiunta ad un basso costo di produzione.

Tuttavia, per le sue stesse caratteristiche quando dispersa nell'ambiente produce un impatto duraturo e rilevante. Inoltre, il riciclo dei prodotti plastici attualmente immesso a consumo è limitato da diversi fattori tecnologici ed economici che impediscono che la quota di materiale riciclato superi il 20-30% del totale.

I risultati confermano la necessità di azioni di ri-progettazione dei materiali plastici e del loro utilizzo, in particolare per le applicazioni monouso. Il riciclo ha un impatto rilevante solo sui cambiamenti climatici e la prevalenza di trattamento termico rende quasi inefficaci le azioni di raccolta differenziata e riciclo.

In conclusione, si può dire che le plastiche sono un materiale destinato a svolgere un ruolo importante nei prossimi anni, anche se sarà necessaria una profonda azione di revisione dei processi produttivi e di consumo in ottica di economia circolare per ottenere alcuni obiettivi:

- Riduzione della domanda per i prodotti monouso, qualora non indispensabili per motivi sanitari o igienici.
- Promuovere il riuso dei prodotti plastici a fine vita.
- Ecodesign dei prodotti plastici per ridurre la quantità di plastiche nei prodotti.
- Tecnologie innovative per il riciclo chimico.
- Ri-progettazione dei materiali plastici utilizzando polimeri compatibili con riciclo meccanico e/o chimico.
- Sistemi di raccolta semplici ed efficaci per garantire la separazione dei rifiuti plastici.
- Tecnologie efficienti e a basso impatto ambientale e ridotte emissioni per riciclo e smaltimento dei prodotti plastici.

10. Bibliografia

- [1] PlasticsEurope, “The Compelling Facts About Plastics 2009. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2008”, 2009.
- [2] OECD, “Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses”, OECD Publishing, Paris, 2018, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264301016-en>.
- [3] Commissione europea, “Strategia europea per la plastica nell'economia circolare”, 2018, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0028&from=SK>
- [4] McKinsey, “How plastics waste could transform the chemical industry,” <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/how-plastics-waste-recycling-could-transform-the-chemical-industry>, 2018.
- [5] World Economic Forum, “The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics”, 2016, http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf.
- [6] Ellen MacArthur Foundation, “The Global Commitment 2020 Progress Report”, 2020, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Global-Commitment-2020-Progress-Report.pdf>.
- [7] Ellen MacArthur Foundation, “Universal Circular economy goals 2021”, 2021, <https://emf.thirdlight.com/link/kt00azuibf96-ot2800/@/preview/1?o>.
- [8] European Bioplastics, “Bioplastics market data 2019”, 2019, https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/Report_Bioplastics_Market_Data_2019.pdf.
- [9] Assobioplastiche, “7° Rapporto Annuale Assobioplastiche”, 2020, http://www.assobioplastiche.org/assets/documenti/news/news2021/CS_Assobioplastiche_RISULTATI%20DI%20SETTORE_2020.pdf.
- [10] Ellen MacArthur Foundation, “Upstream innovation, a guide to packaging innovation”, 2020, <https://emf.thirdlight.com/link/agy3es34kly-k2qe8a/@/preview/1?o>.
- [11] European Commission, “A circular economy for plastics – A European Overview”, 2019, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/33251cf9-3b0b-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-87705298>.
- [12] European Committee of the Regions (EU), “A European Strategy for Plastics In A Circular Economy”, 2018, <https://cor.europa.eu/en/engage/studies/Documents/Plastic-Strategy.pdf>.
- [13] Art-er, 2021 in pubblicazione.
- [14] Direzione Generale Cura del Territorio e dell’Ambiente, Regione Emilia-Romagna, “La gestione dei rifiuti in Emilia-Romagna. Report 2020”, 2021, <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/rifiuti/informazioni/documenti-e-pubblicazioni/documenti-e-pubblicazioni-rifiuti>.
- [15] Regione Emilia-Romagna, Arpa, CONAI, Chi li ha visti? dati 2019, 2020, <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/rifiuti/documenti/chi-li-ha-visti/chi-li-ha-visti-8a-edizione-dati-2019>.
- [16] Deloitte, Plastics Recyclers Europe, “Blueprint for plastics packaging waste: quality sorting & recycling”, Final report, https://743c8380-22c6-4457-9895-11872f2a708a.filesusr.com/ugd/dda42a_a8be9a386b64447bacbc1b59914ad74c.pdf.
- [17] L. Rigamonti, M. Grosso, J. Møller, V. Martinez Sanchez, S. Magnani, T.H. Christensen, “Environmental evaluation of plastic waste management scenarios”, Resources, Conservation and Recycling, Volume 85, 2014, Pages 42-53, ISSN 0921-3449.
- [18] J.T. Kirkeby, T.L. Hansen, H. Birgisdóttir, G.S. Bhandar, M.Z. Hauschild, T.H. Christensen, “**Environmental assessment of solid waste systems and technologies: EASEWASTE**”, Waste Management & Research, 24 (2006), pp. 3-15.

- [19] H. Wenzel, M. Hauschild, L. Alting, “**Environmental assessment of products. Vol. 1: Methodology, tools and case studies in product development**”, Kluwer Academic Publishers, Hingham MA, USA (1997).
- [20] G.W. Coates, Y. Getzler, “Chemical recycling to monomer for an ideal, circular polymer economy”, Nature Reviews, Materials, Vol. 5, July 2020, pp. 501-516.
- [21] Roland Geyer, Jenna R. Jambeck and Kara Lavender Law, “Production, use, and fate of all plastics ever made”, Science Advances 3 (7), e1700782, July 2017.
- [22] How2Recycle, “A Smarter Label System”, <https://how2recycle.info>.
- [23] RecyClass, “Making Plastic Packaging Circular”, <https://recyclclass.eu>.
- [24] I. Vollmer, M. Jenks, M. Roelands, R. White, T. van Harmelen, P. de Wild, G. van der Laan, F. Meirer, J. Keurentjes, B. Weckhuysen, “Beyond Mechanical Recycling: Giving New Life to Plastic Waste”, Angewandte Chem. Int. 59, pp. 15402-15423, 2020.