

AIDIC

Associazione Italiana di Ingegneria Chimica

Gruppo di Lavoro per la TRANSIZIONE ENERGETICA

POSITION PAPER SU

SOSTENIBILITÀ DELLE MATERIE PLASTICHE



Gennaio, 2023



AIDIC

Sommario

1. Le materie plastiche, proprietà ed impieghi	3
2. La gestione dei rifiuti plastici	14
3. La legislazione europea	22
4. La sostenibilità della filiera	27
5. Le tecnologie emergenti	33
6. Le iniziative di sostenibilità di settore	46
7. Conclusioni	50
8. <i>Abbreviazioni e glossario</i>	
9. <i>Schede di approfondimento</i>	

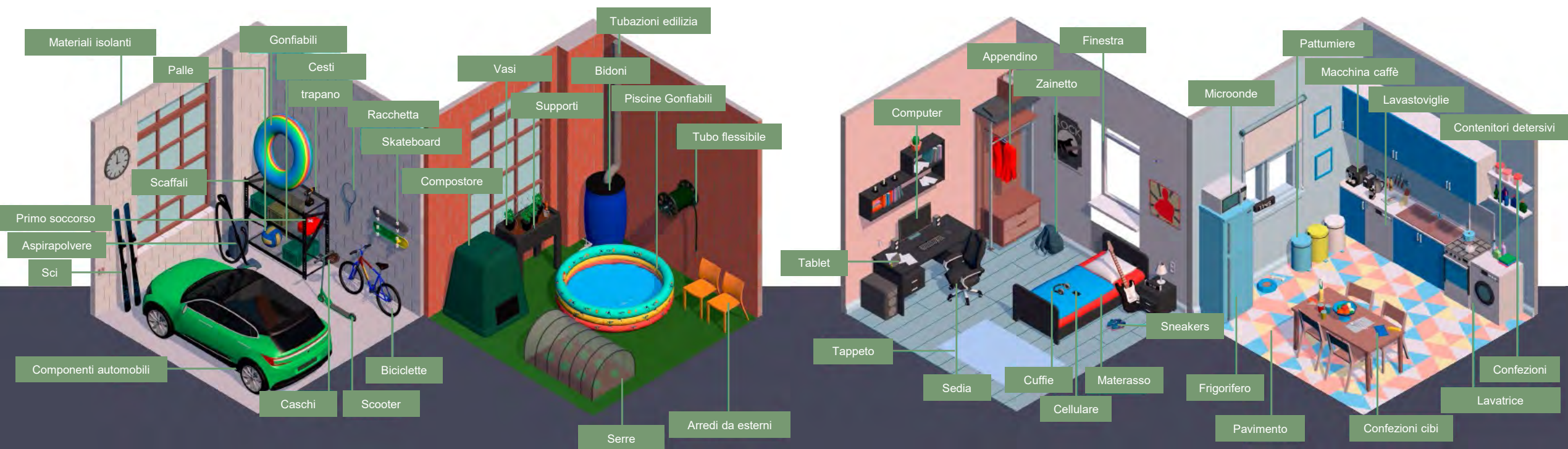
1.

Le materie plastiche:
proprietà ed impieghi

1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

Le materie plastiche sono ormai parte della vita quotidiana. Grazie alle loro proprietà uniche, che le rendono **versatili e resistenti**, consentono di soddisfare molteplici esigenze funzionali ed estetiche e permettono di affrontare una serie di sfide tecnologiche: bere acqua pulita, mangiare cibo fresco, fare sport, godersi i comfort della propria casa, potersi spostare o curare in ospedali igienici e confortevoli, sono solo alcuni degli esempi.

Gli oggetti, i prodotti e le parti in plastica vengono impiegati per un'ampia gamma di applicazioni: negli imballaggi, in edilizia e nelle costruzioni, nel trasporto leggero e pesante, negli elettrodomestici e nei prodotti elettronici, nelle produzioni agricole, in casa e per il tempo libero e lo sport, nei prodotti medicali e nella sicurezza sul lavoro. Le materie plastiche hanno contribuito a rendere la nostra vita **più facile, sicura, sana ed economica**.



1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

Le plastiche sono materiali versatili e resistenti, ottenuti grazie ad un'opportuna combinazione di specifici componenti: (i) **polimeri**, (ii) **additivi** e (iii) talvolta **filler**.

(i) I **polimeri** sono macromolecole formate dalla ripetizione di unità chimiche più semplici dette monomeri. Dal punto di vista delle lavorabilità, possono essere classificati in tre gruppi principali:

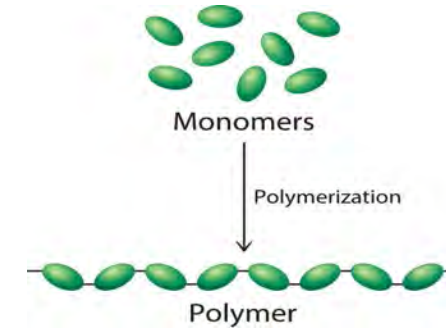
- polimeri **termoplastici**, costituiti normalmente da macromolecole (lineari o ramificate) tenute insieme da forze intermolecolari che a temperature ambiente limitano i movimenti reciproci. Si ammorbidiscono e si sciolgono a temperature elevate, ritornano solidi a freddo.
- polimeri **termoindurenti**, costituiti da catene polimeriche che durante le fasi di produzione dei manufatti si organizzano in strutture altamente reticolate, tenute assieme da legami forti (chimici). Una volta completata la formazione della struttura macromolecolare, rimangono solidi e non possono essere fusi o disciolti.
- polimeri **elastomerici**, costituiti da macromolecole mobili nella fase di produzione che vengono debolmente reticolati in fase di produzione dei manufatti; la possibilità di limitati movimenti reciproci a temperatura ambiente, conferisce da un lato elasticità e dall'altro il mantenimento della forma solida, anche ad elevate temperatura.

(ii) Gli **additivi** sono sostanze chimiche, aggiunte ai polimeri per conferire o migliorare determinati requisiti funzionali e prestazionali: migliorano la lavorabilità, colorano il materiale, possono conferire anti-staticità e anti-appiccicosità, consentono di resistere alla degradazione dovuta ai raggi UV, ossigeno batteri e funghi. Di solito vengono aggiunti in percentuali che variano dallo 0,5% al 5% circa.

(iii) I **filler** sono di norma materiali inorganici (fibre di vetro, fibre di carbonio, ecc.) che forniscono proprietà di rinforzo e strutturali, migliorando robustezza ed elasticità. Sono la base per realizzare i cosiddetti **materiali compositi**.

Con il termine **compound** si identificano quei materiali ottenuti tramite il mescolamento di uno o più polimeri base, additivi e/o fillers. I compound sono prodotti per raggiungere determinate prestazioni finali e traggere specifiche applicazioni.

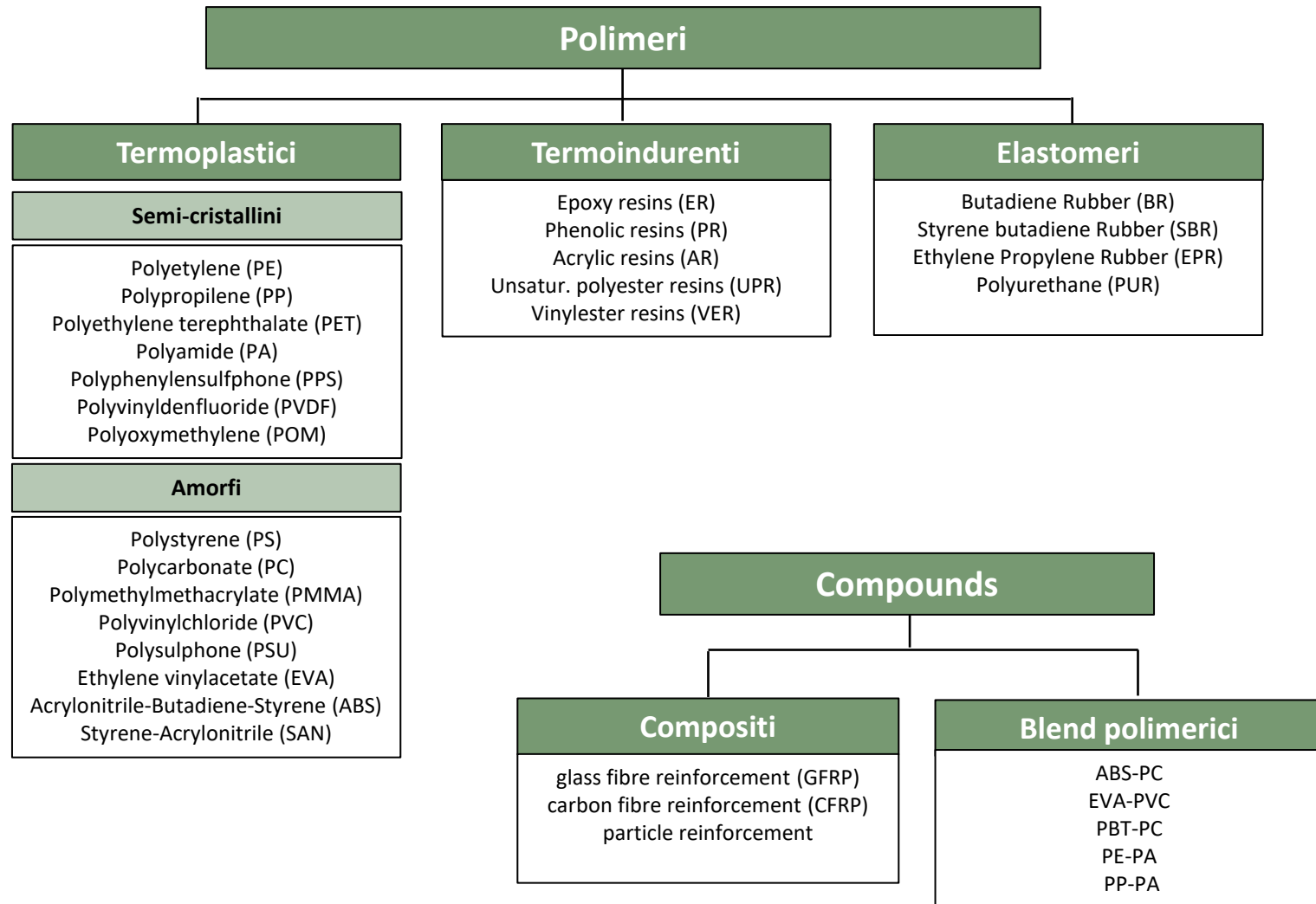
Nello schema riportato in basso è illustrata la filiera tradizionale di produzione delle materie plastiche: dall'estrazione del petrolio, alla produzione dei monomeri, dei polimeri, sino alla realizzazione dei manufatti.



1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

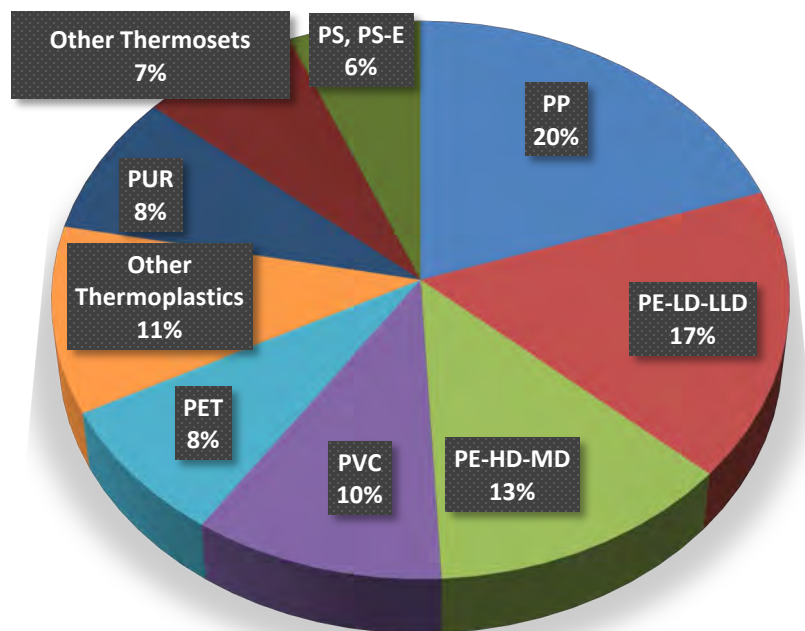
Proprietà delle plastiche e classifica tecnica

- **Economiche** (basso costo di produzione)
- **Leggere** (ottimo rapporto tra proprietà meccaniche e densità)
- Rigide o flessibili, **resistenti all'impatto** e alla lacerazione (raramente fragili)
- **Malleabili**, duttili e facilmente lavorabili in varie forme (anche complesse)
- Dall'aspetto variegato: **trasparente**, traslucido o opaco, **colorate o lucenti** come i metalli
- Compatibili con moltissimi altri materiali (sviluppo di materiali compositi)
- **Resistenti agli agenti atmosferici**, a quelli chimici e biologici, impermeabili all'acqua e ai gas, durevoli nel tempo, **sterili**
- **Isolanti** per le proprietà termiche ed elettriche (o conduttivi in funzione di cariche inorganiche speciali)
- **Riciclabili**



1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

PLASTICA IN EU27+3 NEL 2020 PER TIPOLOGIA DI POLIMERO



TOTALE: 50.3 Mton

Stima della domanda di plastica da parte dei convertitori nell'EU27+3 nel 2021, ad esclusione della plastica riciclata

PRINCIPALI APPLICAZIONI

- PP
 - Imballaggi alimentari, bustine per dolci e snack, tappi, contenitori alimentari per microonde, tubazioni, parti dell'automobile, ecc.
- PE-LD-LLD
 - Sacchetti, vassoi e contenitori riutilizzabili, film per impieghi in agricoltura, film per imballaggi alimentari, ecc.
- PE-HD-MD
 - Giocattoli, bottiglie per latte, flaconi per shampoo, tubazioni articoli per la casa, ecc.
- PVC
 - Infissi, profili, pavimenti e coperture, tubazioni civili, guaine di isolamento dei cavi elettrici, piscine gonfiabili, ecc.
- PET
 - Bottiglie per acqua, per bibite, per succhi di frutta, ecc.
- PET
 - Parti dell'automobile (ABS), fibre ottiche (PBT), lenti occhiali e lastre di copertura (PC), touch screen (PMMA), rivestimento dei cavi nelle telecomunicazioni (PTFE) e molti altri nel settore aerospaziale, medico, dispositivi chirurgici, membrane, valvole & guarnizioni, rivestimenti protettivi, ecc.
- Other Thermoplastics
 - Elementi isolanti in edilizia, interni di cuscini e materassi, schiume isolanti per frigoriferi, ecc.
 - Include altri termoindurenti come resine fenoliche, resine poliestere insature, resine vinilestere, resine epossidiche, resine melamminiche, resine ureiche e altri.
 - Imballaggi alimentari (prodotti lattiero-caseari, pesca), materiali isolanti per edilizia (cappotto), case di apparecchiature elettriche ed elettroniche, parte interna dei frigoriferi, montature per occhiali, ecc.

1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

1° Caso studio

L'imballaggio degli alimenti

Il food packaging è un settore produttivo con un elevato impatto economico, sociale ed anche ambientale. La sua importanza è sicuramente legata alla sua funzione principale: conservare l'integrità del cibo lungo tutta la filiera, dalla catena di produzione sino alla tavola.

Il **packaging deve preservare le caratteristiche organolettiche del cibo**, garantirne la stabilità chimico-fisica (ed impedirne quindi il deterioramento) e microbiologica (per evitare la contaminazione da parte di agenti patogeni e pericolosi per l'uomo). La **qualità e la sicurezza del cibo e/o delle bevande** sono due aspetti che il produttore mette sempre al primo posto nella scelta del tipo di packaging da utilizzare.

In quest'ottica, la plastica rimane un materiale insostituibile per alcuni cibi o bevande.

Caratteristiche come **flessibilità, resistenza meccanica, trasparenza e stabilità, sterilità** e neutralità rispetto le proprietà organolettiche dei cibi rendono la plastica particolarmente adatte al confezionamento, **creando un effetto protettivo agli alimenti** e garantendo nel contempo la possibilità di **vedere i cibi** all'interno delle confezioni, garantendo **leggerezza** degli imballi e quindi **riduzione dei costi di trasporto** (in un'applicazione tipica, lo stesso camion trasporta oltre il 50% in più di yogurt se confezionato in plastica rispetto al vetro), garantendo **economicità** delle confezioni.

Le materie plastiche consentono di realizzare un efficace effetto barriera che protegge i prodotti dalle reazioni con gli agenti esterni come l'ossigeno o i raggi UV e permette di **aumentare notevolmente la shelf life**, in alcuni casi sino a 18 mesi senza la necessità di aggiungere conservanti o impiegare la refrigerazione.

Ad esempio nel caso di cibi freschi, l'impiego di confezioni in plastica con atmosfera modificata, consente di aumentare la conservazione da 5 sino a 10 giorni, e pertanto di ridurre lo spreco di cibo nei negozi dal 16% al 4%: un'efficace protezione degli alimenti e **una maggiore durata di conservazione aiutano pertanto a ridurre al minimo gli sprechi alimentari**.



1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

Le materie plastiche, soprattutto quelle utilizzate nel packaging, sono spesso oggetto di complesse discussioni relativamente al loro impatto sull'ambiente: dall'inquinamento dei mari, alla loro riciclabilità. Tuttavia, il loro fondamentale ruolo nel allungare la vita utile dei cibi e nel ridurre le emissioni di gas serra (GHG), è spesso trascurato.

In un recente studio di McKinsey & Company su 'Climate impact of plastic', il tema è stato affrontato in modo razionale. Gli autori hanno esaminato il contributo totale di gas serra della plastica rispetto a potenziali alternative, sull'intero ciclo di vita del prodotto. L'analisi è stata svolta nel contesto sociale ed economico degli USA nel 2020.

Gli autori hanno preso in esame cinque settori merceologici che impiegano normalmente materiali plastici: gli imballaggi, l'edilizia e costruzioni, i beni di consumo, l'automotive e il tessile. Questi settori, nel complesso rappresentano circa il 90% del volume totale di materie plastiche. All'interno dei settori, sono state selezionate alcune applicazioni rappresentative per le quali oggi esistono scelte alternative alla plastica, sviluppate su larga scala, in particolare per il settore degli imballaggi.

In 13 casi sui 14 esaminati, le materie plastiche hanno dimostrato di essere più sostenibili dei materiali alternativi. I risparmi sui gas serra vanno dal 10% al 90%, considerando sia il ciclo di vita del prodotto che l'impatto durante l'uso. Inoltre, in molte applicazioni, in particolare quelle concentrate negli imballaggi alimentari, lo studio rileva che ad oggi ci sono poche alternative alla plastica.

Pertanto l'adozione della plastica nel breve termine fornisce sicuramente un contributo positivo alla decarbonizzazione, in particolare in termini di riduzione del deterioramento del cibo, dell'efficienza energetica nei cicli produttivi e nei trasporti.

Plastics have a lower greenhouse gas impact in 13 of the 14 nonplastic alternative applications analyzed, including both direct and indirect value-chain emissions.

Comparison	Sector	Application	% difference in total greenhouse gas contribution in United States, 2020 ¹		
			Plastic vs	Next-best alternative	
Plastics vs alternative materials	Packaging	Grocery bag	HDPE ³	Paper	80
		Wet pet food packaging	PET/F	Aluminum or steel	70
		Soft drink container	PET	Aluminum	50
		Fresh-meat packaging	EPS/PVC ⁵	Paper	35
		Industrial drum	HDPE	Steel	-30
		Soap container	HDPE	Glass	15
Building and construction		Municipal sewer pipe	PVC	Concrete or ductile iron	35-45
		Residential water pipe	PEX ⁶	Copper	25
		Insulation	PU ⁷	Fiberglass	80
Consumer goods		Furniture	PP	Wood	50
Automotive		Hybrid fuel tank	HDPE	Steel	90
		BEV ² battery top enclosure	PP/glass fiber	Steel	10
Textiles		Carpet	PET/nylon	Wool	80
		T-shirt	PET	Cotton	15

- 1) Sono comprese le emissioni indirette
- 2) BEV = battery electric vehicle

1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

I materiali compositi

L'idea alla base dei compositi è quella di "unire le forze" di materiali con **caratteristiche diverse** che, presi singolarmente, non forniscono prestazioni particolari, ma nell'insieme beneficiano delle migliori performance dei singoli: ad esempio la grande resistenza meccanica delle fibre, con la flessibilità, resistenza chimica, plasmabilità e leggerezza dei materiali polimerici.

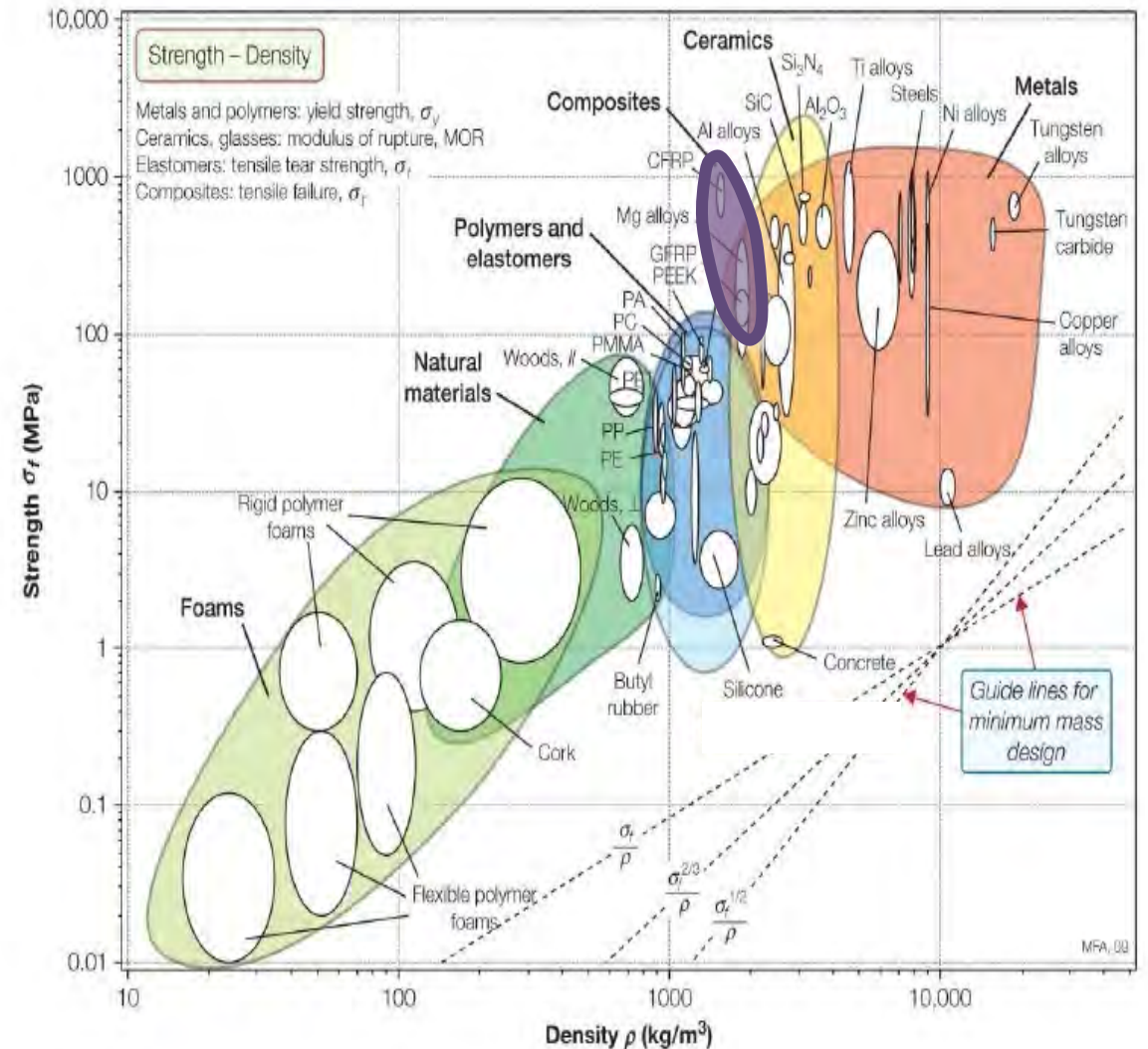
Le principali caratteristiche dei materiali compositi possono essere sintetizzate in:

Forti, i compositi hanno una resistenza meccanica superiore a molti altri materiali, anche a quelli metallici (acciaio e alluminio). Inoltre possono essere plasmati in modo da incrementare la resistenza in aree critiche, come i punti che potrebbero piegarsi o usarsi.

Leggeri, i compositi sono leggeri rispetto alla maggior parte dei legni, dei metalli, del granito, ed il peso inferiore contribuisce all'efficienza nei mezzi di trasporto. Consentono quindi di costruire strutture e oggetti di grandi dimensioni ma leggeri (es. pale eoliche) più facili da trasportare e da installare.

Resistenti e durevoli nel tempo, i compositi resistono alle intemperie e agli agenti chimici e biologici meglio di legno, metalli, granito. Resistono alle elevate temperature e sono dimensionalmente stabili anche sotto il sole o all'umidità. Possono quindi essere impiegati per applicazioni all'esterno, per gli ambienti marini, per i piani cucina, ecc.

Facili da modellare, i compositi offrono infinite opzioni estetiche in quanto possono essere facilmente modellati in qualsiasi forma e personalizzati in qualsiasi colore; inoltre consentono di realizzare pezzi unici al posto di assemblati: un singolo pezzo di composito può sostituire un intero assieme di parti metalliche, semplificando il processo di produzione e riducendo la manutenzione.



Fonte: Ansys – material property charts

1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

2° Caso studio i materiali compositi nell'eolico

La Conferenza delle Nazioni Unite (Parigi, 2015) ha portato a un accordo globale per ridurre gli effetti del cambiamento climatico e per raggiungere lo zero emissioni di gas serra tra il 2030 e il 2050.

In questo contesto le tecnologie eoliche hanno visto una rapida espansione passando globalmente da una capacità installata pari a 181 GW nel 2010 a 737 GW nel 2020 (incremento del 300% in 10 anni).

Tale crescita esponenziale è stata possibile grazie anche al potenziamento delle tecnologie:

- Primi impianti (anni 80): turbine da 1 MW con pale in composito da 10-15 metri.
- Impianti attuali: turbine da 6 a 9 MW con pale da 65-80 metri.
- Dimensione **massime attuali**: turbina da 15 MW con **pale da 115 metri**.

Questo rapido **sviluppo** è stato **possibile** anche grazie **all'impiego dei materiali compositi**: le **elevate prestazioni meccaniche** combinate con una particolare **leggerezza**, hanno contribuito allo sviluppo di gruppi pale sempre più grandi.

Inoltre, l'impiego dei compositi consente di ridurre i costi di trasporto, montaggio e soprattutto di manutenzione, rispetto ai materiali tradizionali.



1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

3° Caso studio i materiali compositi nei trasporti

Con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra, le normative europee relative ai veicoli con motori a combustione interna stanno via via definendo limiti emissivi sempre più stringenti. Ad esempio per le emissioni auto, la normativa prevede una riduzione del 15% della CO₂ emessa entro il 2025, e del 37,5% entro il 2030.

In generale **per le auto circa il 75% del consumo di carburante è determinato dal peso del veicolo**. Valori analoghi possono essere determinati anche per il trasporto pesante. In questo contesto l'impiego di materiali leggeri consente:

- per i veicoli con motori a combustione: riduzione dei consumi e dei costi di trasporto, riduzione delle emissioni di gas serra
- per i veicoli elettrici, riduzione dei consumi e dei costi di trasporto, aumento dell'autonomia del veicolo



Grazie alla loro leggerezza e rigidità, **i compositi sono una valida opzione per ridurre il peso del veicolo**. Pertanto con il duplice obiettivo di soddisfare le normative di settore e le nuove esigenze di mercato, le case automobilistiche stanno via via introducendo maggiori quantità di materiali compositi per rendere i veicoli più leggeri.

Auto e camion: in materiale composito sono realizzate molte parti strutturali per interni ed esterni ed anche componentistica del motore:

- Pannelli di carrozzeria
- Sistemi di illuminazione
- Coppe olio, coperchi valvole
- Parafanghi, profili alari
- Cabine camion e prolunghe letto
- Scalini del camion
- Griglie per camion e pannelli di apertura griglia
- Porte, spoiler
- Tetti e vani interni del tetto
- Passaruota
- Ruote.

1. Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

Le materie plastiche: proprietà ed impieghi

Conclusioni:

1

*Le plastiche sono **un'ampia gamma di materiali** contraddistinti da proprietà specifiche, a seconda della natura del **polimero**, degli **additivi** e dei **filler**.*

*L'economicità, la leggerezza, la resistenza, la versatilità, la durabilità, la facilità di lavorazione e la riciclabilità sono solo alcune delle caratteristiche che rendono i materiali plastici **insostituibili** in molte applicazioni.*

2

*Le materie plastiche sono parte integrante della vita quotidiana; contribuiscono a rendere la nostra vita più **facile, sicura, sana ed economica**.*

3

*Riducendo gli sprechi alimentari e le emissioni di CO₂, sostenendo lo sviluppo delle energie rinnovabili e aumentando l'efficienza energetica, le materie plastiche contribuiscono anche alla **sostenibilità ambientale ed economica**.*

2.

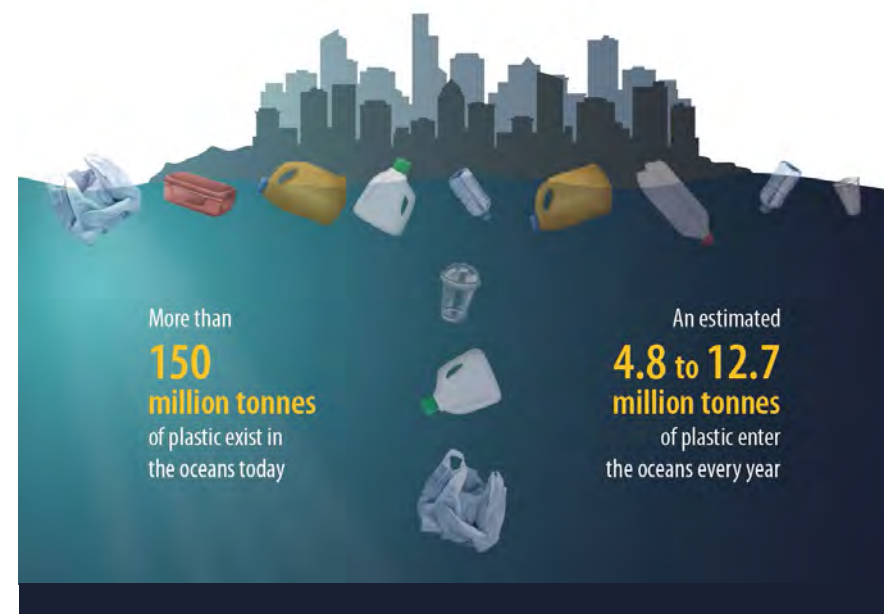
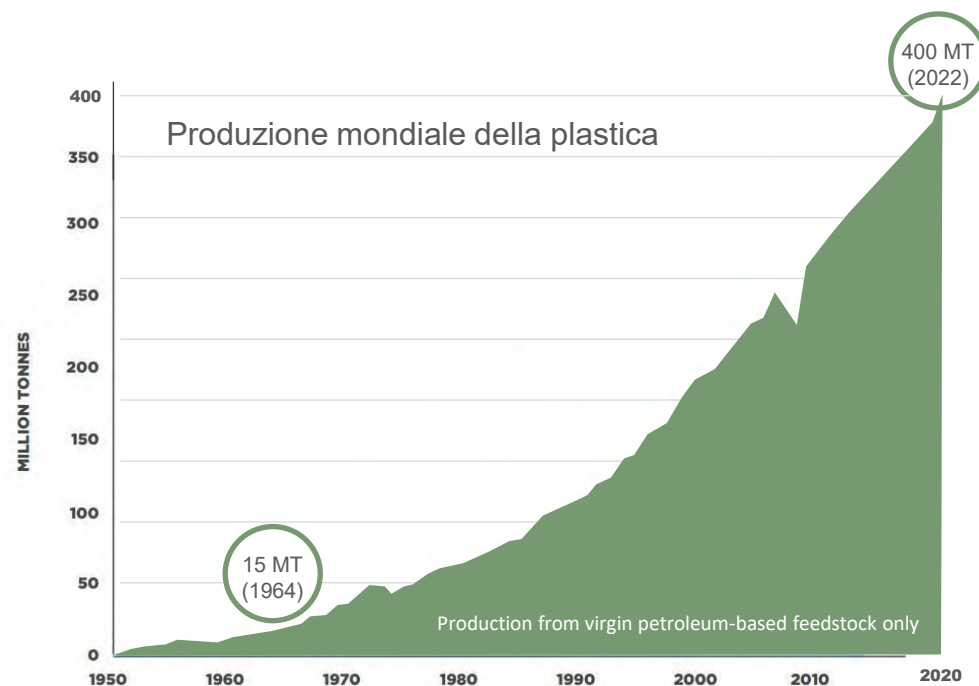
Le gestione dei rifiuti plastici

2. La gestione dei rifiuti plastici

Le materie plastiche e l'ambiente

La versatilità ed il basso costo delle materie plastiche ne hanno determinato il **grande successo**, promuovendo una progressiva sostituzione di materiali usati in passato in molteplici applicazioni. Dalla loro introduzione negli anni cinquanta, la domanda è cresciuta fino a rendere oggi le plastiche il terzo materiale artificiale più diffuso al mondo, dopo acciaio e cemento. La produzione mondiale è infatti passata dai 15 milioni del 1964 agli oltre 390 milioni attuali.

Tuttavia maggiori produzioni comportano maggiori volumi di **rifiuti** che, **se non adeguatamente gestiti, possono generare impatti non trascurabili sull'ambiente**.



Dagli anni cinquanta ad oggi si stima che siano state prodotte 8,3 miliardi di tonnellate di plastica, generando circa 6,3 miliardi di tonnellate di rifiuti. Di questi il 79% è stato conferito in discariche o rilasciato nell'ambiente, il 12% termovalorizzato e solamente il 9% recuperato tramite riciclo. **Ad oggi** si stima che **circa 150 Mton di rifiuti plastici** siano **presenti negli oceani**, con un tasso di crescita di circa 8 Mton all'anno.

Questa **situazione va sicuramente attenzionata ed affrontata con razionalità**, implementando azioni concrete per impedire ulteriore rilascio di materiali plastici nell'ambiente, con particolare attenzione alle microplastiche, approfondendo lo studio dei possibili impatti e mitigandone gli effetti.

Fonti: European Parliament, [Plastic in the ocean: the facts, effects and new EU rules](#)

2. La gestione dei rifiuti plastici

Le microplastiche

Con il termine microplastiche vengono indicate tutte quelle **particelle solide a base di materiali polimerici con dimensioni ≤ 5 mm**. Sono solitamente distinte in base alla loro origine in:

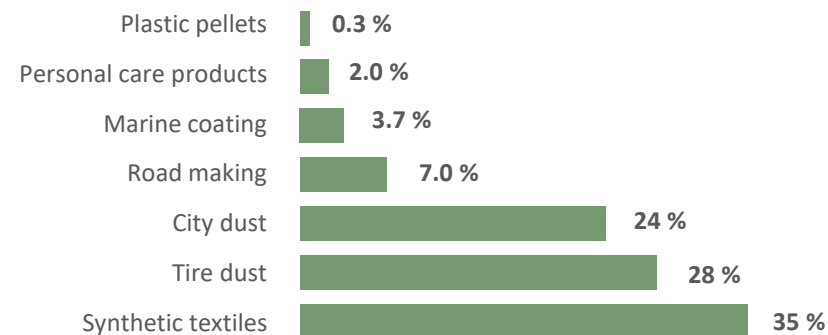
- **Primarie** – prodotte direttamente con dimensioni piccole per il loro normale impiego
- **Secondarie** - dovute alla progressiva frammentazione di pezzi di plastica più grandi

Negli ultimi anni, le microplastiche sono divenute **oggetto di crescenti preoccupazioni** legate sia all'ambiente che alla salute umana, in quanto:

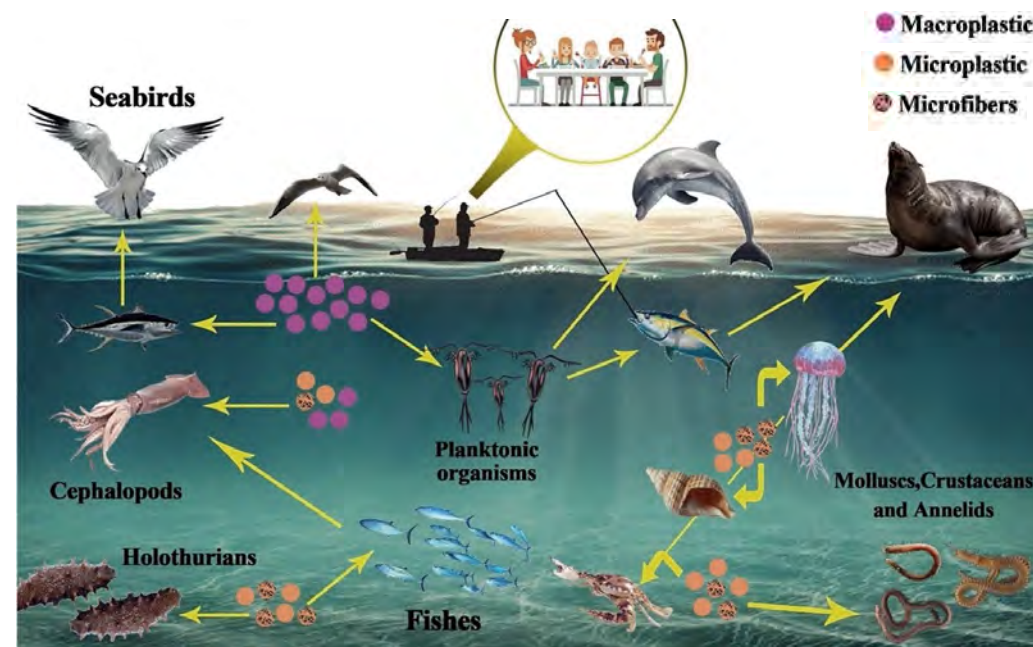
- la loro **ubiquità negli oceani**, nei suoli e nell'aria può avere effetti negativi sugli ecosistemi vulnerabili (es, barriere coralline) e sulla biodiversità;
- Le loro ridotte dimensioni facilitano l'ingestione da parte di organismi alla base di diverse **catene alimentari**;
- sono **bioaccumulabili e potenzialmente facilmente trasportabili**;
- possono **contenere additivi** che, a loro volta, possono essere rilasciati nell'ambiente e costituire nuove vie di esposizione per gli organismi.

La **ricerca** sulle microplastiche e i loro potenziali impatti negativi è **ancora agli inizi**: le conoscenze scientifiche disponibili sono un mix di consenso, posizioni contrapposte, estrapolazioni informate, speculazioni e molte incognite. Ciò riflette sia l'immaturità del campo che la sua intrinseca complessità.

Conseguentemente, anche a titolo cautelativo, autorità e mondo dell'industria si sono attivate per ridurre la dispersione di microplastiche nell'ambiente e approfondire la tematica, anche attraverso accordi e trattati internazionali



IUCN Primary Microplastics in the Ocean: a Global Evaluation of Source, 2017



2. La gestione dei rifiuti plastici

Lo scenario attuale in cifre

Un recente studio pubblicato dalla McKinsey&Co mostra in modo chiaro i flussi su scala mondiale dei materiali plastici a partire dalla produzione sino alla gestione finale dei rifiuti.

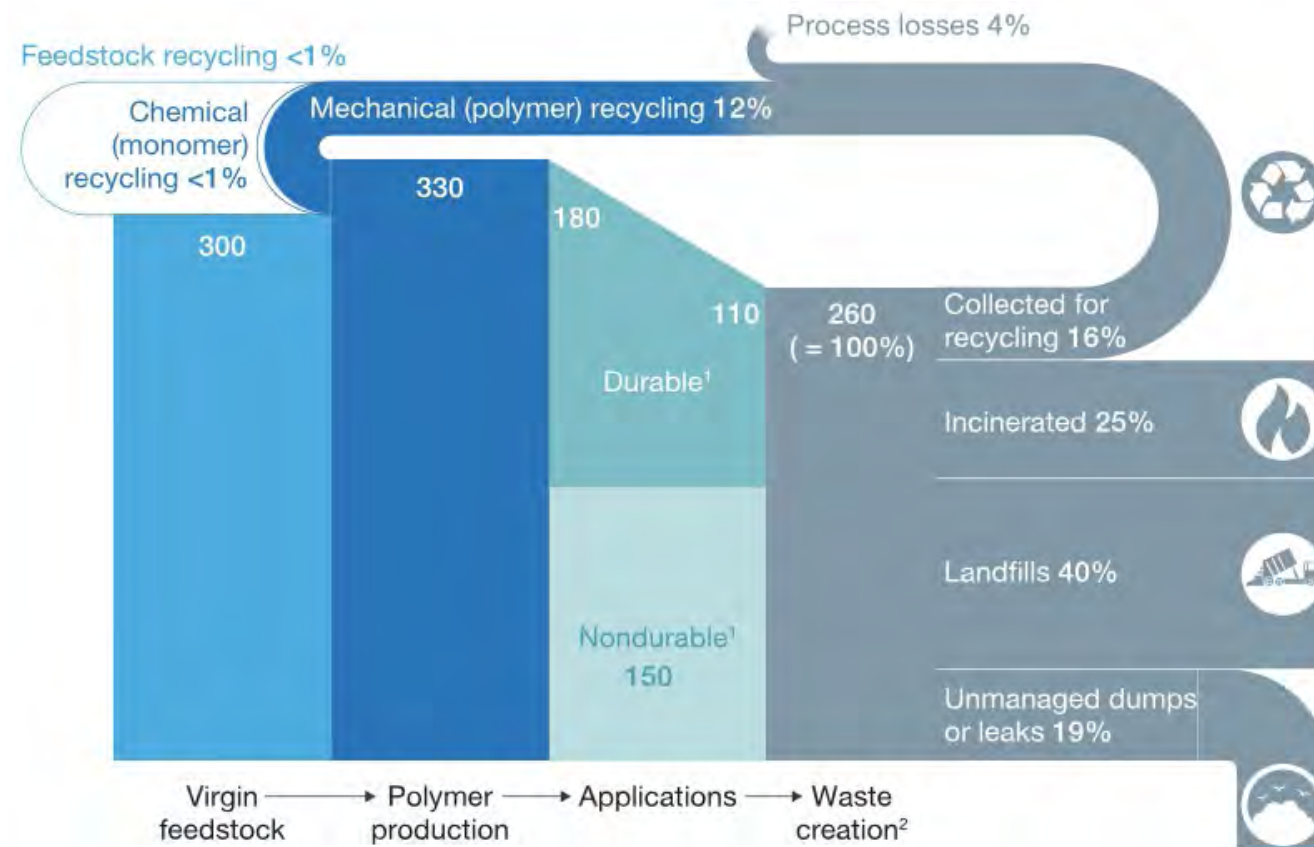
Rispetto alla quantità totale di materiale plastico vergine immesso ogni anno sul mercato circa l'80% diventa rifiuto. Questo disallineamento è sicuramente dovuto al fatto che negli ultimi 50 anni la produzione di plastica è progressivamente cresciuta e che molti oggetti in plastica hanno una vita media piuttosto lunga e pertanto diventeranno rifiuti molti anni dopo la loro introduzione sul mercato. Ad esempio la vita utile di tubazioni in PVC utilizzate in edilizia è di circa 50 anni, mentre quella di componentistica delle automobili è di circa 15 anni (per approfondimenti vedere la scheda a pag. 55).

Con riferimento al 2016, di tutti i rifiuti prodotti al mondo solamente un 16% è stato riciclato, un 25% termovalorizzato o incenerito, un 40% conferito in discarica e un 19% disperso nell'ambiente.

E' interessante notare che già ad oggi, una frazione non trascurabile di materiale vergine viene prodotto a partire da materiale riciclato (circa il 10%), aspetto sicuramente in crescita nell'ultimo decennio.

Per rendere circolare la filiera della plastica, l'obiettivo delle autorità governative, dell'industria e di tutta la società dovrà essere quello di massimizzare il riciclo dei rifiuti, ridurre la termovalorizzazione o l'incenerimento (per ridurre le emissioni di CO₂), ridurre il conferimento in discarica e minimizzare se non azzerare il rilascio nell'ambiente.

Global polymer flow 2016 (milioni di tonnellate/anno)



2. La gestione dei rifiuti plastici

Lo scenario attuale in cifre

Sempre nello studio pubblicato dalla McKinsey&Co (tabella a fianco), viene riportato che nel **2018** sono stati prodotti a livello mondiale **complessivamente 270 Mton di rifiuti plastici**. Una parte considerevole di questi non è stata gestita in modo opportuno: circa 80 Mton di rifiuti sono finiti in discariche non idonee oppure sono stati bruciati all'aperto, dai 5 ai 10 milioni di tonnellate di rifiuti sono invece finiti in mare.

Il report mostra che a livello mondiale, solo **15 paesi contribuiscono per circa l'80% del totale di rifiuti**. Tra questi, alcuni **paesi asiatici** (India, Indonesia, Tailandia e Vietnam) **non hanno ancora raggiunto livelli di gestione idonei**: dal 75% all'85% dei rifiuti di plastica vengono mal gestiti comportando impatti ambientali importanti. Questo aspetto è legato al fatto che in questi paesi mancano sistemi organizzati di gestione dei rifiuti. La costruzione di un sistema completo di gestione dei rifiuti richiederebbe significativi finanziamenti governativi, intergovernativi e del settore privato.

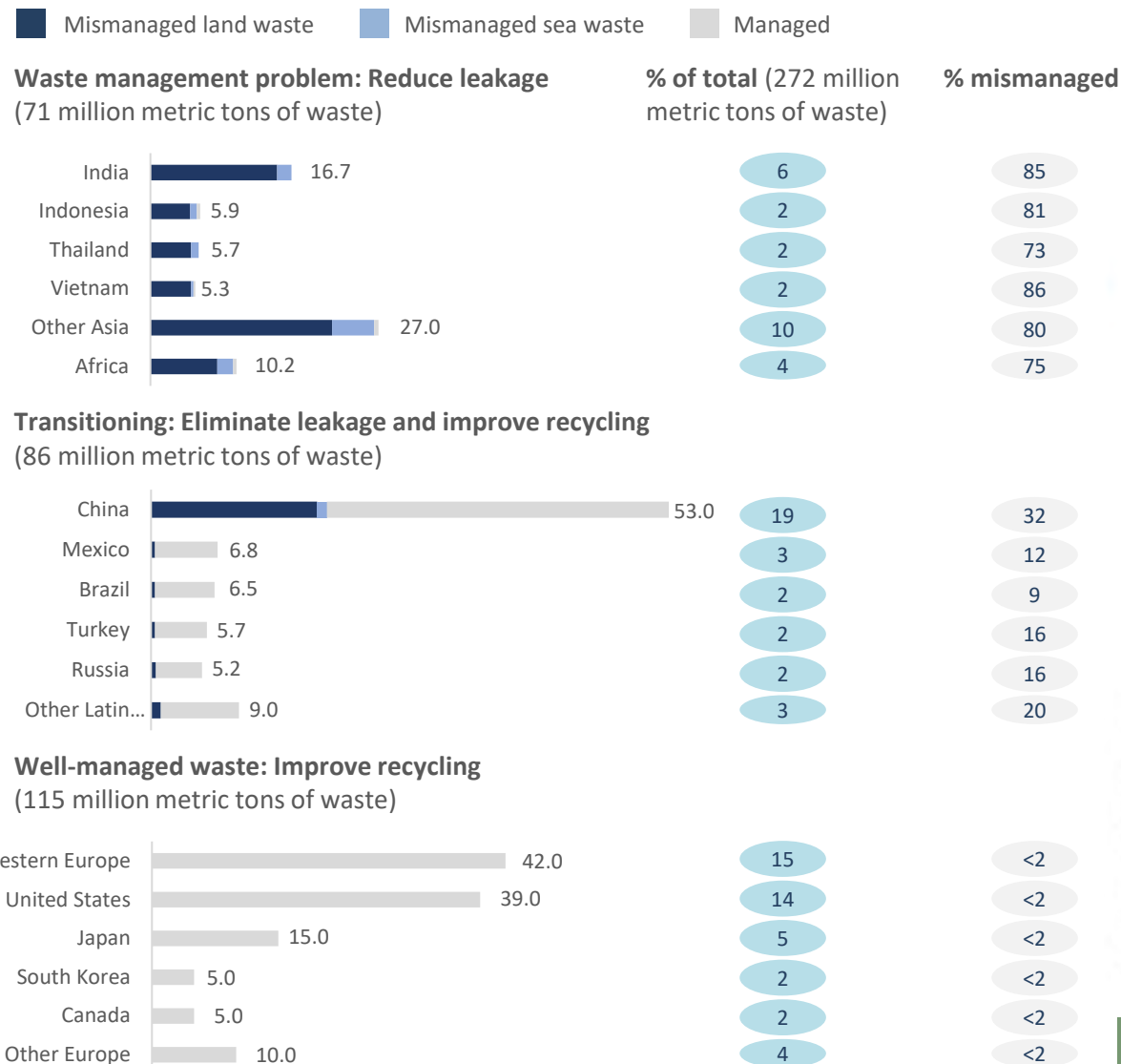
In **Europa e negli Stati Uniti** (che assieme producono quasi il 30% dei rifiuti plastici mondiali) la situazione è sicuramente migliore. Ad oggi **quasi il 100% dei rifiuti plastici prodotti vengono opportunamente gestiti**: conferiti in discariche con idonei standard, termovalorizzati o riciclati.

Fonti:

McKinsey & Company, Addressing the challenges of plastic waste: Circularity and leakage

McKinsey&Company, How plastics waste recycling could transform the chemical industry - 2018

2018 plastic waste volume by geography¹ (million metric tons)



Note: Figures may not sum, because of rounding.

¹Reflects data from 2010, 2015, and 2017.

²Bangladesh, Bhutan, Brunei, Burma, Cambodia, Fiji, Guam, Kiribati, Laos, Malaysia, Mongolia, Nepal, North Korea, Pakistan, Philippines, Samoa, Sri Lanka, Timor-Leste, Tonga, and Vanuatu.

³Includes Cameroon, Democratic Republic of the Congo, Gambia, Ghana, Kenya, Madagascar, Mozambique, Nigeria, Senegal, Sierra Leone, Somalia, Tanzania, and Togo; each has more than 80% unmanaged waste.

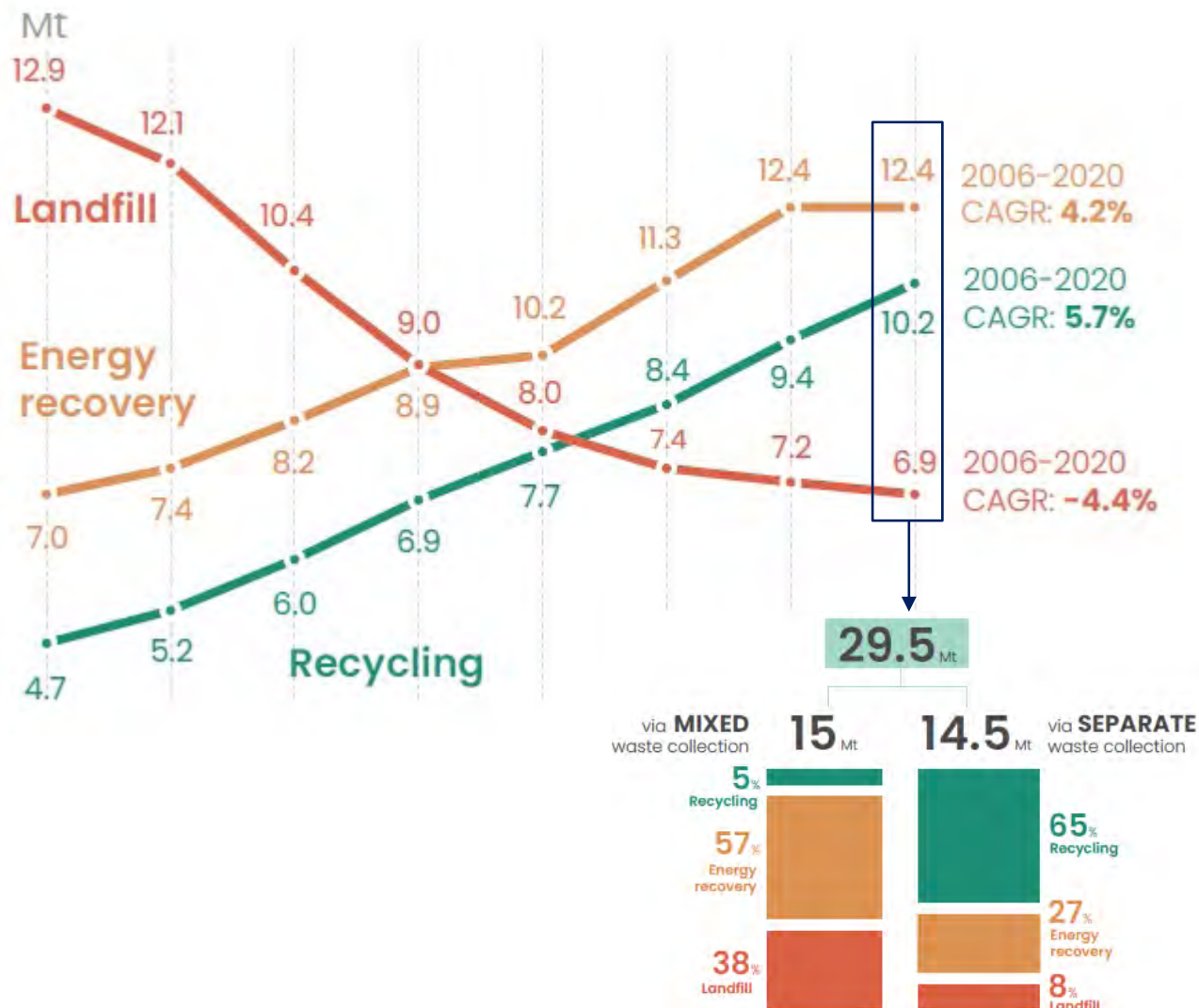
⁴Includes volumes for Hong Kong.

⁵Mismanaged includes open dumping, open burning, substandard landfills (eg, no top layer, improper drainage, unstable stacking), and ocean leakage.

Sources: McKinsey analysis

2. La gestione dei rifiuti plastici

La gestione dei rifiuti plastici in Europa (EU27+3)



Nel 2020 in Europa sono stati raccolti 29,5 Mt di rifiuti plastici, di cui circa il 60% proveniente dagli imballaggi.

La loro gestione è decisamente migliorata negli ultimi anni: **dal 2006 ad oggi**, la quantità totale di rifiuti di plastica post-consumo inviati al riciclo è **più che raddoppiata raggiungendo il 35% del totale**, mentre il conferimento in discarica è diventato l'opzione minore.

I numeri sono ancora più positivi se si restringe il campo ai soli rifiuti plastici derivanti dal packaging che ammontano a 17,9 Mt. In questo caso infatti il tasso di riciclo sale al 46%, mentre la termovalorizzazione (definita anche «energy recovery») e il conferimento in discarica scendono rispettivamente al 37% e al 17%.

Questo notevole risultato è stato ottenuto grazie ai miglioramenti dei sistemi di raccolta differenziata e delle tecnologie di cernita e separazione dei rifiuti misti: **quando le plastiche sono raccolte e gestite separatamente il tasso di riciclo è 13 volte più alto**.

I risultati positivi ottenuti fino ad oggi, tuttavia non sono sufficienti a raggiungere gli obiettivi fissati dall'Unione Europea che prevedono un target di riciclo dei rifiuti da imballaggi in plastica pari al 50% entro il 2025 e 55% entro il 2030.

2. La gestione dei rifiuti plastici

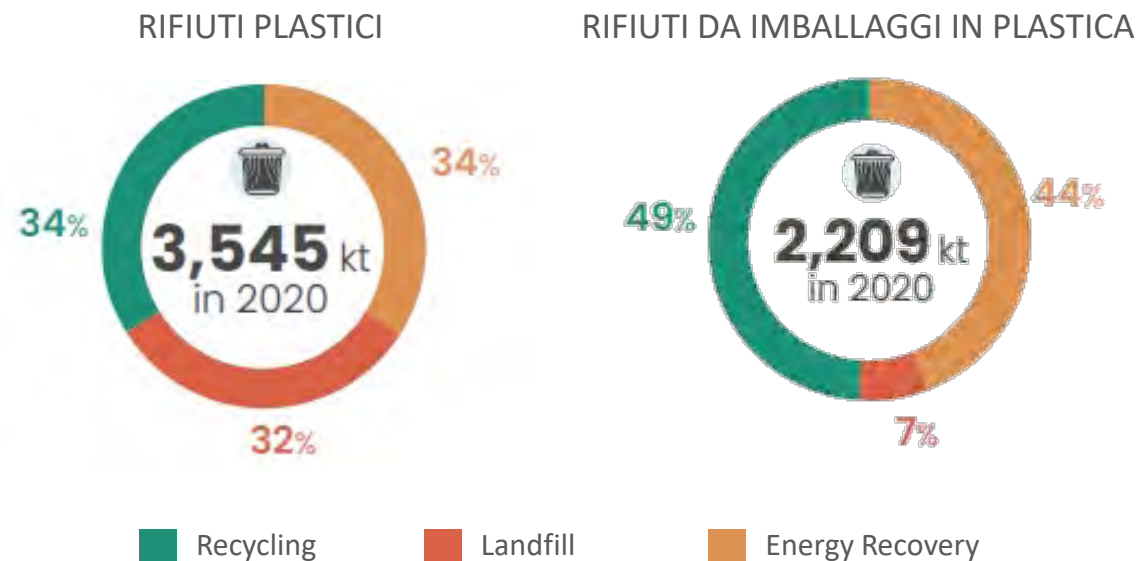
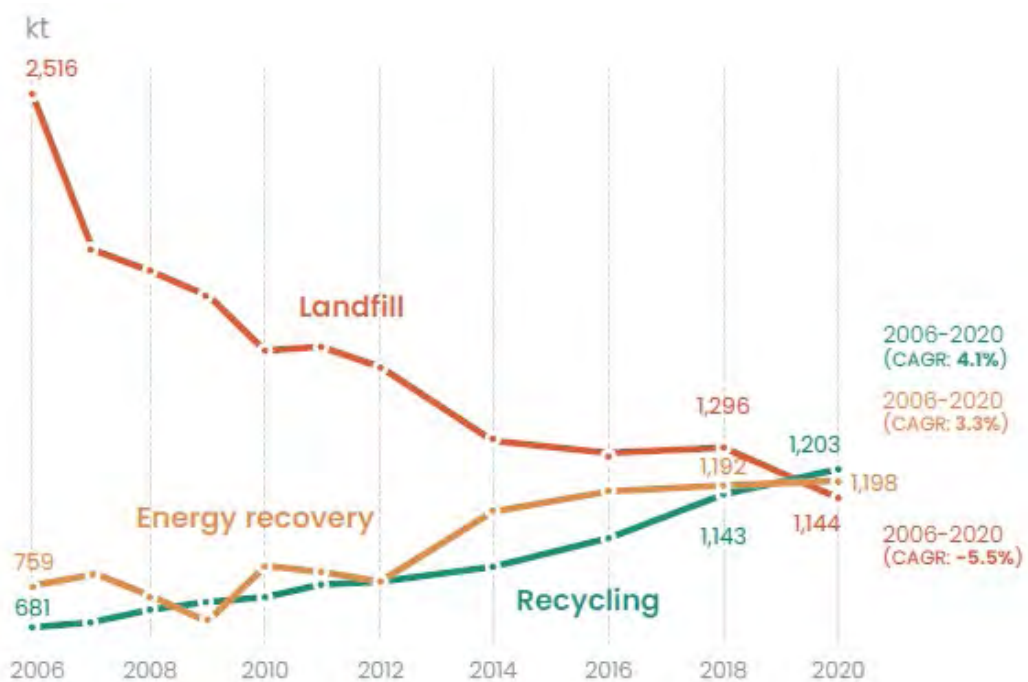
La gestione dei rifiuti plastici in Italia

Nel 2020 in Italia sono stati raccolti 3,5 Mt di rifiuti plastici, di cui circa il 62% proveniente dagli imballaggi.

Come avvenuto mediamente in Europa, anche in Italia la gestione è decisamente migliorata negli ultimi anni: **dal 2006 ad oggi**, la quantità totale di rifiuti di plastici post-consumo inviati **al riciclo è aumentata del 77%**, la **termovalorizzazione è cresciuta del 58%**, mentre il **conferimento in discarica è calato del 52%**.

Se si analizzano solo i rifiuti derivanti da imballaggi, in Italia il tasso di riciclo è pari al 49% e la termovalorizzazione al 44%, entrambi superiori ai rispettivi dati europei. D'altra parte la percentuale conferita in discarica è notevolmente inferiore alla media europea, attestandosi intorno al 7%.

Tali risultati portano l'Italia ad essere molto vicina al target dell'UE previsto al 2025 (tasso di riciclo per gli imballaggi pari al 50%) e dimostrano l'attenzione e l'impegno del nostro paese alle tematiche ambientali.



Per ulteriori approfondimenti sui flussi di materie plastiche in Italia, si veda la scheda a pag. 56

2. La gestione dei rifiuti plastici

La gestione dei rifiuti plastici

Conclusioni:

1

Dagli anni cinquanta ad oggi sono state prodotte 8,3 miliardi di tonnellate di plastica, generando circa 6,3 miliardi di tonnellate di rifiuti. Di questi si stima che, **a causa di una non corretta gestione dei rifiuti, circa il 2%** sia finito **negli oceani** dove spesso le condizioni portano alla formazione di microplastiche.

2

La **gestione dei rifiuti plastici** negli ultimi anni è notevolmente migliorata, specie in **Europa** dove il tasso di **riciclo** si attesta **attorno al 35%** ed è in continua crescita negli ultimi anni. È comunque necessario proseguire su questa strada, ed estendere **modalità di gestione virtuose** nei paesi in via di sviluppo.

3.

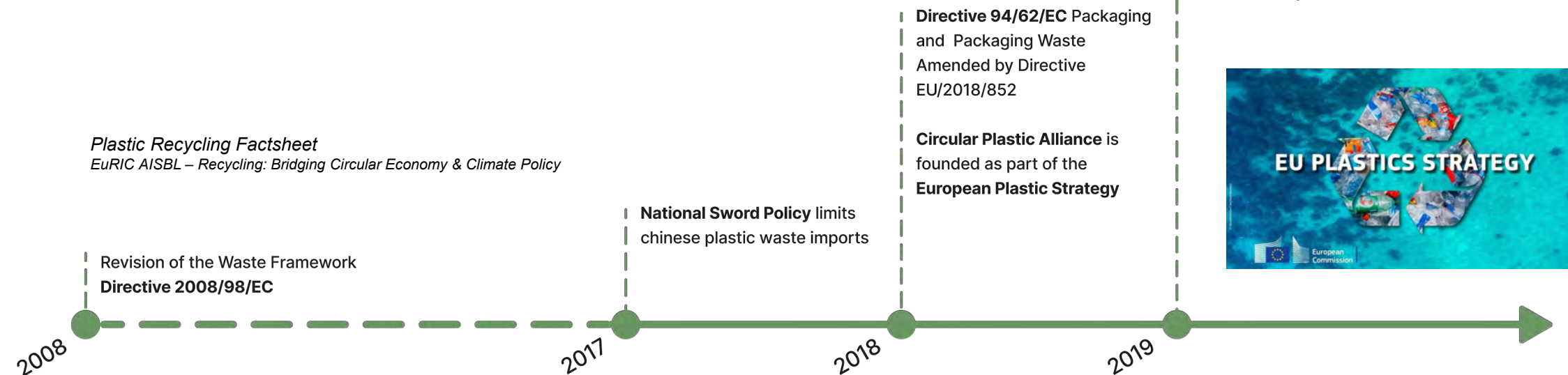
La legislazione europea

3. La legislazione europea

Il percorso legislativo europeo

Già nel 2014 la Commissione Europea aveva incluso le materie plastiche tra i settori prioritari di intervento del primo “Piano d'azione per l'economia circolare”. Da questo primo testo è stata poi elaborata nel **2018 la Strategia sulla plastica nell'economia circolare** (la cd. EU Plastics strategy) che prevede che entro il 2030 tutti gli imballaggi in plastica immessi nel mercato unico dovranno essere riutilizzabili o riciclabili. A questo fine, la Commissione ha introdotto vari provvedimenti, il più importante dei quali è la **Direttiva 2019/904, meglio nota come direttiva SUP («Single Use Plastic»)**, sulla riduzione dell'incidenza di determinati prodotti di plastica sull'ambiente. La direttiva impone:

- misure per portare alla **riduzione del consumo di determinati prodotti di plastica** (art.4)
- **restrizioni all'immissione sul mercato** di alcuni prodotti (art.5)
- **requisiti di progettazione e marcatura** (art. 6/7)
- **target di raccolta differenziata** (art.9).



3. La legislazione europea



Nello specifico, **l'articolo 4 prevede** che - per i contenitori per alimenti e le tazze per bevande - gli Stati membri devono adottare misure necessarie a ottenere – nel 2026 - **una riduzione «quantificabile» dei prodotti di plastica monouso rispetto al livello del 2022.**

Gli stati membri devono descrivere alla Commissione le misure che intendono adottare entro il 3 luglio 2021. **L'articolo 5 impone il divieto di immissione sul mercato**, a partire dal 3 luglio 2021, **di un'ampia categoria di prodotti in plastica monouso**, come ad esempio cotton fioc, posate, piatti, cannucce, palette e bastoncini per palloncini. Gli altri articoli fissano una percentuale minima di materiale riciclato nella fabbricazione di nuovi prodotti e dei target di riciclo per i manufatti in plastica monouso.

La direttiva «packaging and packaging waste» (2018/852) definisce i target di riciclo degli imballaggi in plastica pari al 50% entro il 2025 e 55% entro il 2030.

Circular Plastic Alliance pledged

10 Mtonnes of recycled plastic input in the market each year

Directive 2008/98/EC

55% municipal waste ready for reuse/recycle

Directive 94/62/EC amended in directive EU/2018/852

65% of all packaging waste is recycled

50% of all plastic waste is recycled

Directive EU 2019/904 on Single Use Plastics

25% recycled PET in bottles with a capacity lower than 3L

77% of PET bottles with a capacity lower than 3L input in the market is collected for recycling

Directive 2008/98/EC

60% municipal waste ready for reuse/recycle

Directive 94/62/EC amended in directive EU/2018/852

70% of all packaging waste is recycled

55% of all plastic waste is recycled

Directive EU 2019/904 on Single Use Plastics

30% recycled PET in bottles with a capacity lower than 3L

90% of PET bottles with a capacity lower than 3L input in the market is collected for recycling

2022

2025

2030

3. La legislazione europea: applicazione negli stati membri

Nonostante che EU abbia previsto una tassazione di 0,80 euro/kg di plastica non riciclata a partire dal 1 gennaio 2021, la sua applicazione non è omogenea tra gli stati membri.

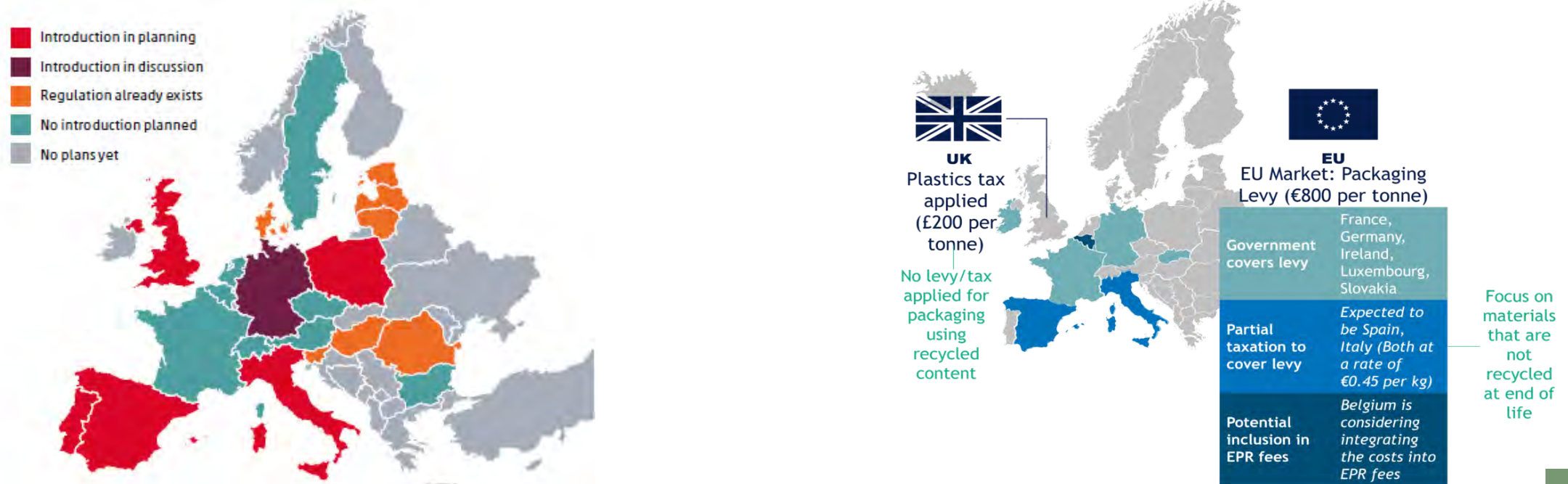
In Francia, Germania, Irlanda, Lussemburgo e Slovacchia questa tassa è assorbita dal bilancio dello stato. In Spagna è parzialmente trasferita agli utilizzatori per un importo di 0,45 euro/kg. In Belgio è in discussione il suo assorbimento nei costi finali di smaltimento (EPR extended producer responsibility).

L'Italia ha introdotto la «plastic tax», ovvero una tassazione di 0,45 €/kg sui manufatti a singolo impiego immessi al consumo, che però attualmente non è ancora entrata in vigore e nell'ultima legge di bilancio è stata posticipata al 2024.

Inoltre gli effetti della pandemia hanno spinto molti paesi a posporre l'applicazione della direttiva. Si prevede che questa imposta imporrà una notevole spinta all'uso di polimeri riciclati o biobased visto che il suo importo è confrontabile con il prezzo di mercato dei polimeri maggiormente impiegati per il packaging.

Oltre agli impatti economici, questa direttiva ha al momento le seguenti conseguenze:

- Incremento del prezzo delle plastiche riciclate, fortemente richieste sul mercato ma al momento scarsamente disponibili
- Un impulso in termini di eco-design nello sviluppare prodotti mono-materiale al posto dei compositi (accoppiati), per favorire il riuso e il riciclo.



3. La legislazione europea: applicazione negli stati membri

La Legislazione Europea **Conclusioni:**

1

L'Unione Europea ha avviato da diversi anni un importante programma legislativo con lo scopo di incrementare la circolarità delle plastiche: entro il 2030 tutti gli imballaggi in plastica immessi nel mercato unico dovranno essere riutilizzabili o riciclabili.

2

Altro importante obiettivo della strategia legislativa europea è la riduzione della dispersione nell'ambiente dei rifiuti plastici: con questo scopo nasce la direttiva SUP che mira a ridurre il consumo di prodotti plastici mono-uso.

3

E' importante che l'applicazione delle direttive europee nei singoli paesi membri sia omogenea, affinché non si creino squilibri di mercato e si raggiungano unitamente i target di sostenibilità.

4.

La sostenibilità della filiera

4. La sostenibilità della filiera

La catena del valore delle materie plastiche

Il settore delle materie plastiche coinvolge numerosi attori, dalle grandi multinazionali per la produzione delle materie prime, ad aziende altamente specializzate per la lavorazione di prodotti finiti ed infine aziende locali per la raccolta e gestione dei rifiuti.

Per rendere più sostenibile l'intera filiera è necessario traggare due obiettivi principali:

- Riduzione delle emissioni di CO₂ lungo tutta la catena del valore
- Riduzione dello smaltimento dei rifiuti in discarica e/o la loro combustione.

Non esiste un'unica soluzione per raggiungere questi target, ma tutti gli attori possono dare il proprio contributo in maniera sinergica.

Le principali leve per incrementare la sostenibilità della filiera sono:

- Utilizzo di **materie prime alternative** (biologiche e/o da riciclo)
- Progettazione secondo i principi di **eco-design**
- **Efficientamento nelle produzioni** e riduzione delle emissioni di gas serra
- **Efficientamento della logistica**
- **Riuso e Riparazione** dei manufatti
- Miglioramento della **raccolta e gestione dei rifiuti**
- **Sviluppo di tecnologie di riciclo**: meccanico avanzato, chimico e fisico

Un'economia della plastica più circolare deve cercare di ridurre al minimo la necessità di materiale vergine e di energia nella produzione di materie plastiche, garantendo al contempo ridotte pressioni ambientali legate all'estrazione delle risorse, alla produzione, al consumo e ai rifiuti. Nelle pagine successive verranno forniti maggiori dettagli sulle sfide del settore industriale.



4. La sostenibilità della filiera

Efficientamento nelle produzioni e riduzione delle emissioni di gas serra

Come spiegato nei capitoli precedenti, le materie plastiche sono ormai parte della nostra vita quotidiana, essendo utilizzate per molteplici scopi e in svariate applicazioni.

Secondo i dati di «Independent Commodity Intelligence Services (ICIS)» e «IHS», la domanda di questi materiali nei prossimi anni incrementerà ulteriormente, spinta dall'aumento demografico e dal miglioramento delle condizioni di vita, specialmente nei paesi in via di sviluppo.

Ad esempio, a livello globale si stima che il consumo di polipropilene passerà da 83,1 milioni di tonnellate nel 2021 a circa 118 milioni di tonnellate nel 2030, mentre il polistirene negli stessi anni passerà da 11,7 a 12,6 milioni di tonnellate ⁽¹⁾.

Allo stesso tempo, l'attenzione ai temi ambientali pone l'industria delle materie plastiche di fronte a una sfida importante: incrementare le produzioni ma in modo più sostenibile, riducendo il consumo di nuove risorse e limitando le emissioni in atmosfera connesse alla produzione.

E' fondamentale pertanto il continuo incremento dell'efficientamento nelle produzioni e la continua riduzione delle emissioni di CO₂, realizzabile attraverso:



Energie rinnovabili -> incremento della quota green per la produzione di elettricità e vapore



Idrogeno -> utilizzo di H₂, prodotto con tecnologie a basse emissioni, come vettore energetico



CCUS -> cattura, stoccaggio e/o utilizzo delle emissioni di CO₂ dei processi industriali



Sviluppo tecnologico -> continuo upgrade di macchinari, apparecchiature e processi per migliorarne le prestazioni.



4. La sostenibilità della filiera

Eco-design

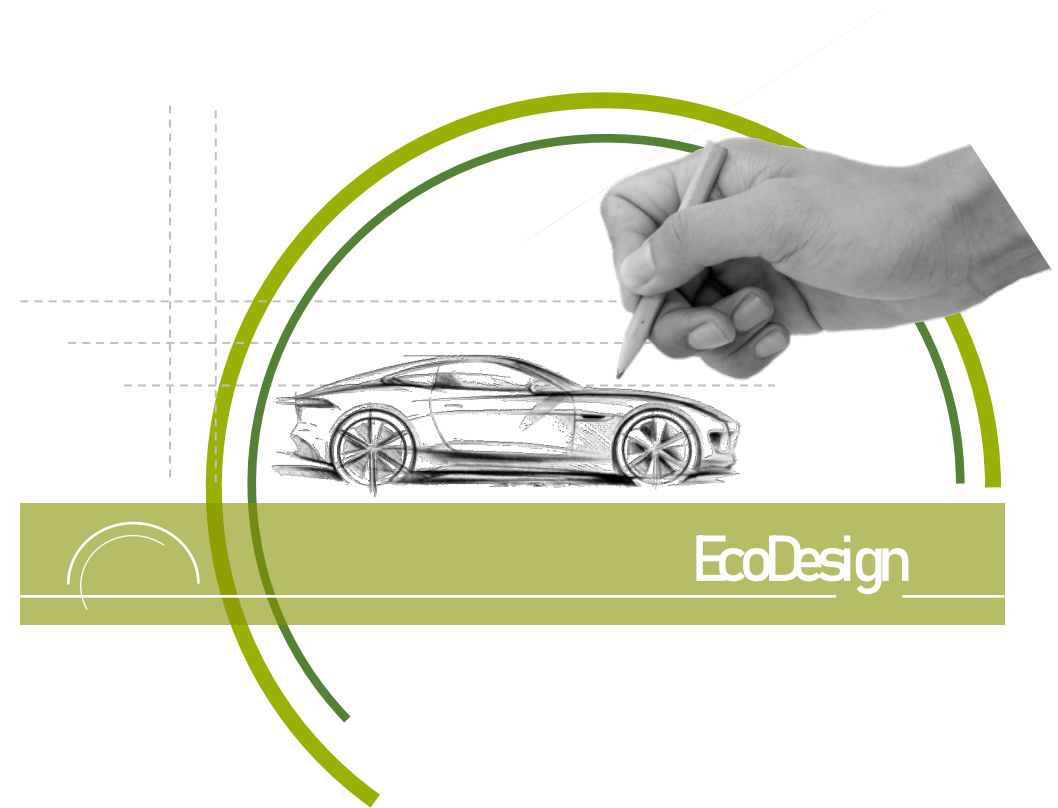
La progettazione e la produzione di un prodotto possono influenzare il suo intero ciclo di vita.

Partendo dalle sfide attuali, possiamo ri-pensare i prodotti in plastica e renderli più sostenibili:

- Incentivando l'uso di materie prime seconde (derivanti dall'utilizzo combinato di tecnologie di riciclo consolidate ed emergenti) o provenienti da fonti rinnovabili (di origine o attribuzione biologica)
- Incrementando la durabilità, il riuso e la riparabilità dei prodotti plastici
- Facilitando il disassemblaggio e la separazione dei suoi diversi componenti
- Massimizzando la riciclabilità dei componenti
- Incrementando, ove possibile, l'impiego di plastiche biodegradabili
- Sostituendo eventuali sostanze classificate come pericolose
- Applicando Standard sulle plastiche
- Tenendo conto dell'impronta carbonica legata al ciclo di vita del prodotto.

*“The redesign of plastic packaging is fundamental.
Otherwise, about 30% of plastic packaging waste will never
be reused or recovered”*

Ellen Mc Arthur Foundation



4. La sostenibilità della filiera

Le valutazioni di sostenibilità: LCA

Il **Life Cycle Assessment** (Valutazione del Ciclo di Vita) è un **metodo oggettivo** di valutazione e **quantificazione dei carichi energetici ed ambientali e degli impatti potenziali associati ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita**, dall'acquisizione delle materie prime sino al fine vita. Proprio per questa ragione la valutazione LCA può essere svolta solamente nel caso siano ben identificati ed univoci i processi e le fasi di trasformazione per la fabbricazione di un prodotto: in **quest'ottica non è possibile pensare ad LCA di famiglie prodotto**, in quanto produttori differenti potrebbero aver realizzato lo stesso materiale/oggetto con tecnologie potenzialmente differenti.

L'importanza dell'LCA risiede nell'**approccio** che consiste nel **valutare tutte le fasi di un processo produttivo come correlate e dipendenti**. Pertanto tra gli strumenti nati per l'analisi di sistemi industriali, l'LCA ha assunto un ruolo preminente ed è in **forte espansione a livello nazionale ed internazionale**.

A livello internazionale la metodologia LCA è regolamentata dalle norme ISO della serie 14040 in base alle quali uno studio di valutazione del ciclo di vita prevede:

- definizione dell'**obiettivo e del campo di applicazione** dell'analisi (ISO 14041),
- compilazione di un **inventario degli input e degli output** di un determinato sistema (ISO 14041),
- valutazione del **potenziale impatto ambientale** correlato a tali input ed output (ISO 14042),
- interpretazione dei **risultati** (ISO 14043).

A livello europeo l'importanza strategica dell'adozione della metodologia LCA è espressa all'interno del Libro Verde COM 2001/68/CE e della COM 2003/302/CE sulla Politica Integrata dei Prodotti.



4. La sostenibilità della filiera

La sostenibilità della filiera

Conclusioni:

1

La sostenibilità passa dal ripensare all'intero ciclo di vita dei materiali: **dalla progettazione, all'utilizzo e riparazione, sino al riciclo a fine vita.**

2

Il settore industriale può ridurre gli impatti emissivi delle fasi di produzione implementando soluzioni efficienti e tecnologie innovative.

3

Un importante contributo alla sostenibilità dell'intera catena del valore può venire dall' **eco-design**: impiegando feedstock rinnovabili o circolari, progettando prodotti con una vita utile più lunga e realizzati in modo tale che siano facilmente riparabili, riciclabili o, quando possibile biodegradabili.

4

Per valutare la reale sostenibilità dei materiali e degli oggetti, è indispensabile adottare un approccio scientifico e oggettivo tramite tecniche quantitative che analizzino l'impatto ambientale sull'intero ciclo di vita (**LCA – Life Cycle Assessment**).

5.

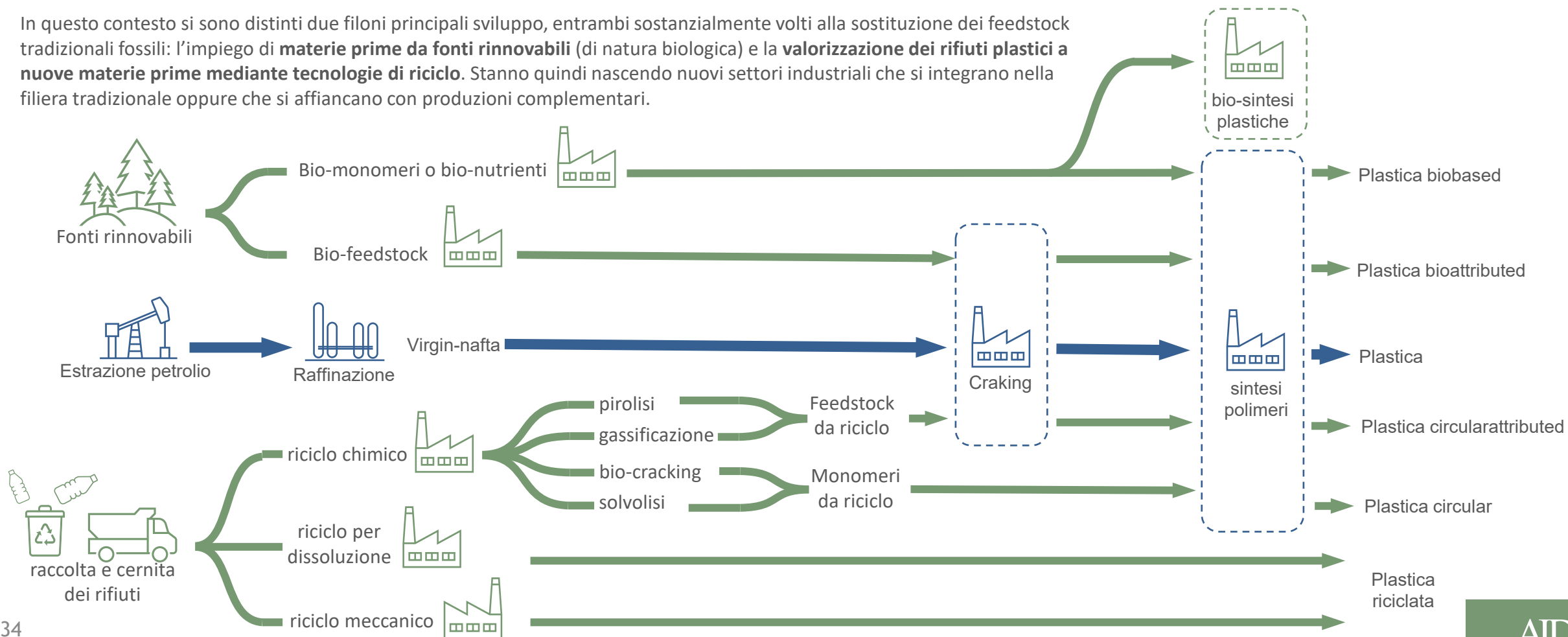
Le tecnologie emergenti

5. Le tecnologie emergenti

Nuove tecnologie

Negli ultimi vent'anni sono state avviate molte iniziative finalizzate a fornire ulteriore sostenibilità all'intera catena del valore delle materie plastiche sia in termini di **riduzione dell'impatto carbonico della filiera**, sia in termini di **miglioramento della gestione dei materiali plastici a fine vita**.

In questo contesto si sono distinti due filoni principali sviluppo, entrambi sostanzialmente volti alla sostituzione dei feedstock tradizionali fossili: l'impiego di **materie prime da fonti rinnovabili** (di natura biologica) e la **valorizzazione dei rifiuti plastici a nuove materie prime mediante tecnologie di riciclo**. Stanno quindi nascendo nuovi settori industriali che si integrano nella filiera tradizionale oppure che si affiancano con produzioni complementari.



5. Le tecnologie emergenti

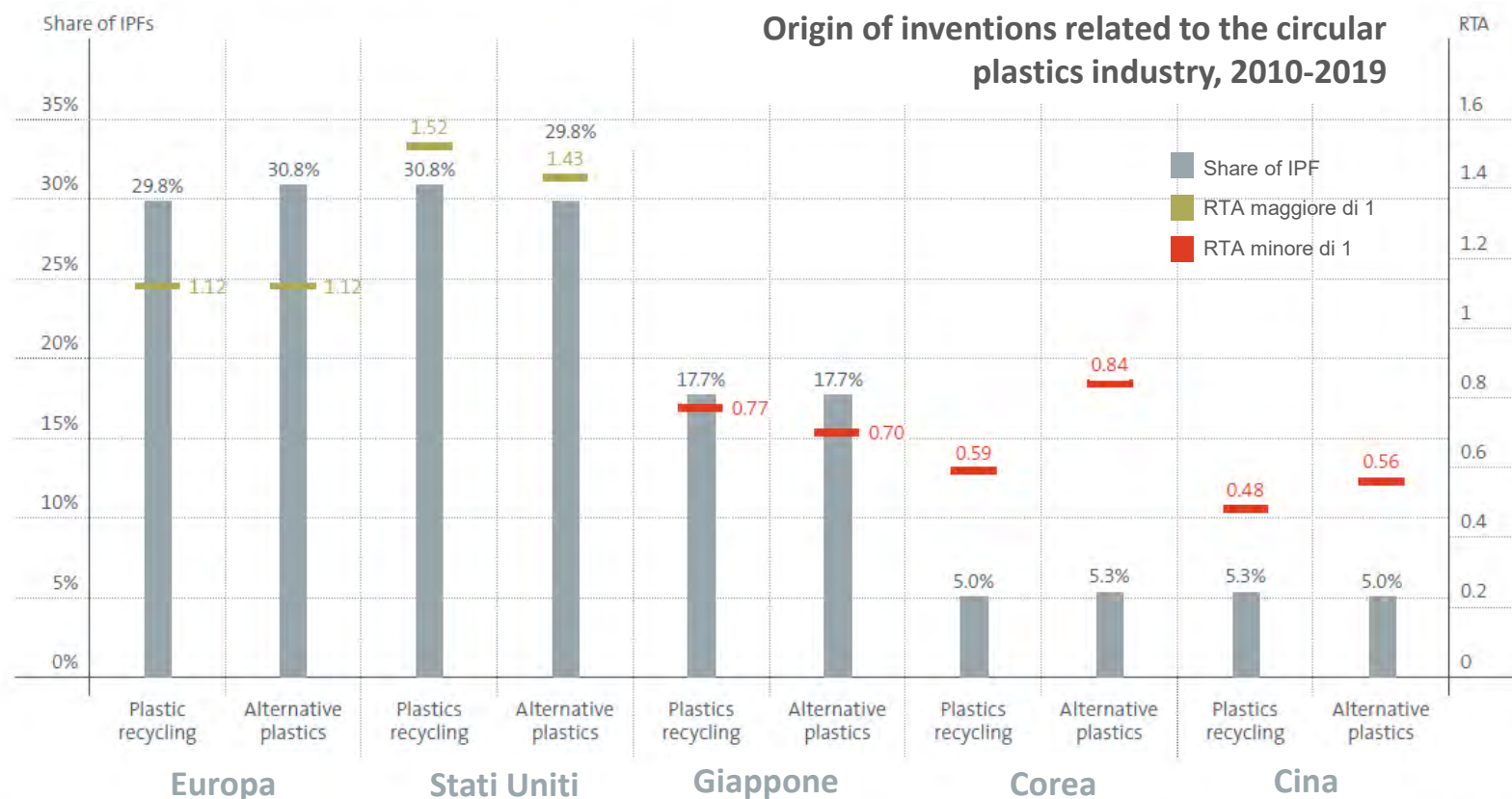
La brevettazione delle nuove tecnologie

Un recente studio svolto dall'EPO 'Patents for tomorrow's plastics -Global innovation trends in recycling, circular design and alternative sources - October 2021' mostra i trend emergenti nell'ambito delle innovazioni per il riciclo ed il design intelligente delle materie plastiche.

Nello studio viene evidenziato che L'Europa e gli Stati Uniti sono di gran lunga i principali innovatori in termini di sforzi per rendere circolare l'industria delle materie plastiche, con circa il 30% ciascuno degli IPF (international patent family) depositati tra il 2010 e il 2019. In particolare, il vantaggio tecnologico riguarda sia il riciclo della plastica che le tecnologie della bioplastica (plastiche alternative).

In Europa, i paesi che maggiormente si distinguono per l'innovazione in questo settore sono Francia, Regno Unito, Italia, Paesi Bassi e Belgio.

Per un approfondimento sull'attività brevettuale in ambito tecnologie di riciclo, si veda la scheda a pag. 57



L'IPF (internazionale Patent family) è una insieme di domande di brevetto che coprono lo stesso contenuto tecnico o un contenuto tecnico simile.

L'RTA indica la specializzazione di un paese in termini di innovazione circolare della plastica rispetto alla sua capacità di innovazione complessiva. È definito come la quota di un paese di IPF in un particolare campo di tecnologia divisa per la quota di IPF del paese in tutti i campi della tecnologia. Un RTA sopra uno riflette la specializzazione di un paese in una determinata tecnologia. Solo gli RTA più alti (circa 1,5 o più) sono riportati nel grafico.

5. Tecnologie emergenti per la sostenibilità delle materie plastiche

Nuovi feedstock da fonti rinnovabili

Le **Bioplastiche** rappresentano una famiglia di materiali con diverse proprietà e possibilità di applicazione.

Una plastica può essere definita “**bioplastica**” se è **bio-based** (ovvero prodotta almeno in parte da fonti rinnovabili, incluse piante alimentari) oppure **biodegradabile** (ovvero se è degradata per azione microbica in composti quali acqua, CO₂, CH₄, compost), o se presenta entrambe le caratteristiche.

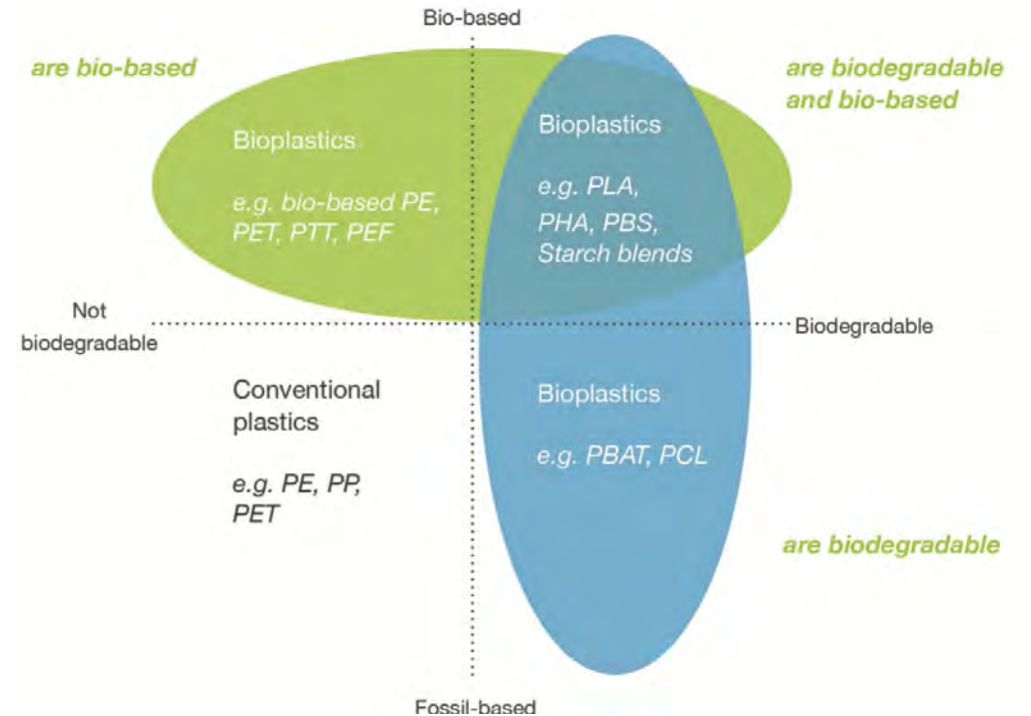
La biodegradabilità di un materiale dipende dalla sua struttura chimica e non dalla fonte da cui è prodotto.

Le **bioplastiche** possono essere suddivise in **tre gruppi** principali:

- Bioplastiche bio-based, che sono almeno parzialmente prodotte da fonti rinnovabili e non sono biodegradabili, come il bio-based PE (prodotto da bioetanolo)
- Bioplastiche biodegradabili prodotte a partire da fonti fossili, come il policaprolattone (PCL) e polibutilene adipato tereftalato (PBAT)
- Bioplastiche bio-based e biodegradabili, come: acido polilattico (PLA), poliidrossialcanoati (PHA), polibutilene succinato (PBS), blend a base di amido.

Le materie prime bio possono inoltre essere alimentate in filiere di produzione tradizionali insieme ai feedstock fossili per l’ottenimento di **prodotti bio-attribuiti**. L’approccio ‘mass balance’ consente di tracciare la quantità e le caratteristiche di sostenibilità del feedstock bio nella catena del valore e di attribuirli al prodotto finale sulla base di una contabilità verificabile.

Per maggiori dettagli si veda la slide 44 su ‘mass balance’.



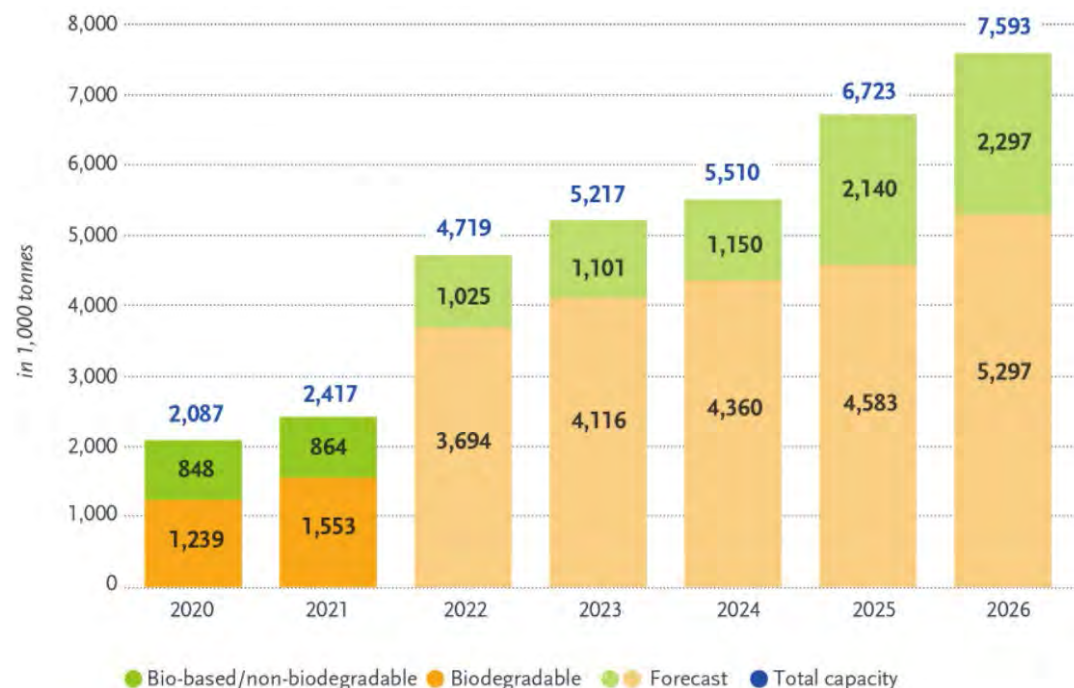
5. Tecnologie emergenti per la sostenibilità delle materie plastiche

Bioplastiche: Mercato

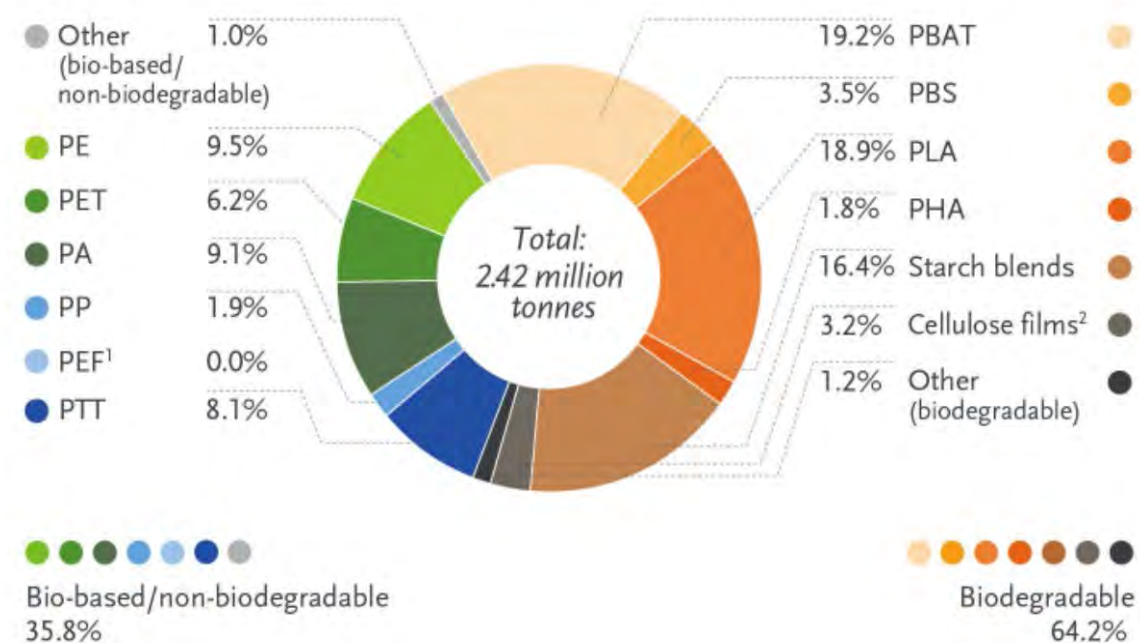
La produzione delle bioplastiche è ad oggi molto limitata (< 1% della produzione globale di plastica) a causa di costi mediamente più elevati rispetto ai prodotti di origine fossile e la ridotta disponibilità delle materie prime. Tuttavia il loro mercato è in rapida crescita:

- Si stima un significativo aumento nella produzione di bioplastiche nei prossimi anni, passando da circa 2.09 (nel 2020) a 7.60 (nel 2026) milioni di tonnellate
- Le diverse tipologie di bioplastiche ne rendono possibile l'applicazione in vari settori industriali, tra cui quello dell'imballaggio rappresenta il settore predominante. Nel 2021, circa il 48% del mercato totale delle bioplastiche è stato destinato all'imballaggio.

Global production capacities of bioplastics 2021-2026



Global production capacities of bioplastics 2021 (by material type)



¹PEF is currently in development and predicted to be available at commercial scale in 2023. ² Regenerated cellulose films

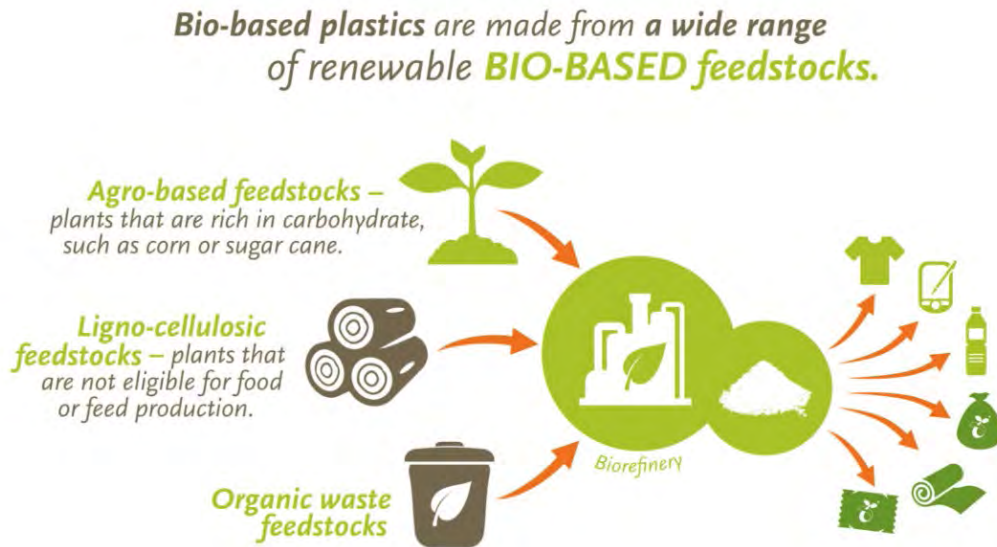
5. Tecnologie emergenti per la sostenibilità delle materie plastiche

Bio-feedstock per la produzione di bioplastiche

Attualmente le bioplastiche sono prodotte principalmente a partire da piante ricche in carboidrati, come mais e canna da zucchero (*feedstock di I generazione*), ma è crescente l'interesse verso l'utilizzo di colture non alimentari, come la cellulosa e le alghe (*feedstock di II e III generazione*) o residui / scarti dall'industria agroalimentare e da rifiuti municipali organici.

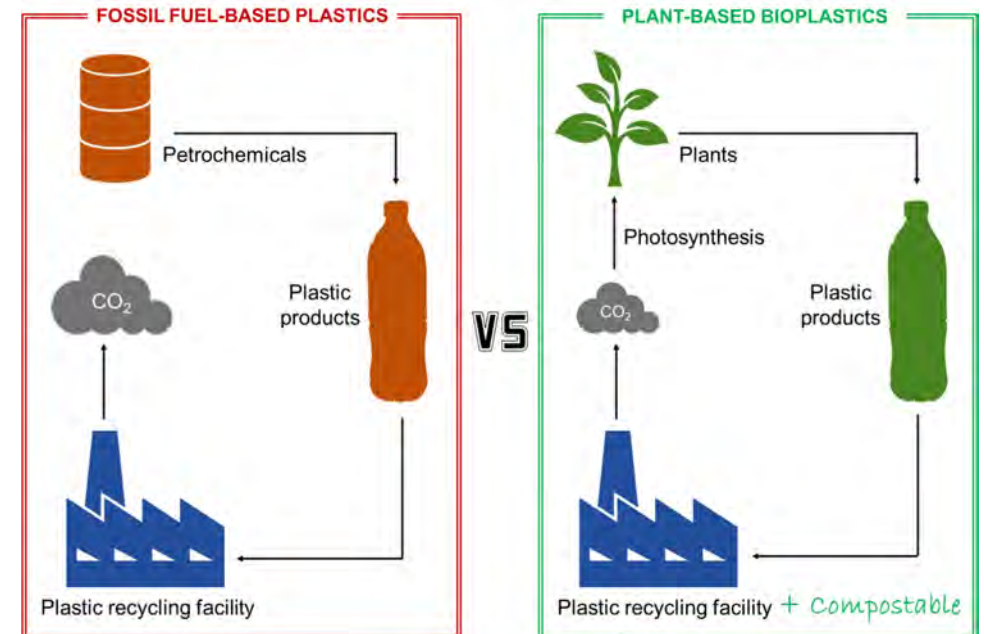
Anche per le bioplastiche è sempre necessario valutare con approccio scientifico (LCA) il reale impatto ambientale lungo tutto il ciclo di vita del prodotto. In quest'ottica è da ricordare che nelle bioplastiche bio-based il carbonio contenuto nel materiale è stato prelevato dalla CO₂ atmosferica durante la crescita della matrice vegetale. L'analisi va comunque completata con gli impatti derivanti dai processi produttivi e di trasformazione.

Inoltre la scelta della materia prima è un punto chiave per la valutazione della sostenibilità delle bioplastiche: l'utilizzo di biomassa di scarto, non in competizione con la filiera alimentare, permette di ridurre/eliminare il consumo di acqua e suolo relativi alla produzione della carica vegetale e consente di acquisire i vantaggi dell'economia circolare anche in questo settore.



© European Bioplastics

Fig. 2 Environmental impacts of fossil fuel-based plastics and plant-based bioplastics. Note that conventional plastics emit a significant amount of CO₂ and other toxic emissions from recycling processes. Apart from the compostable bioplastic polymers, the recycling of bioplastics is a process with low carbon emissions. Therefore, bioplastics can decrease greenhouse gas emissions by partially or fully eliminating the usage of fossil fuel derivatives with plant-based fibers and polymers



5. Tecnologie emergenti per la sostenibilità delle materie plastiche

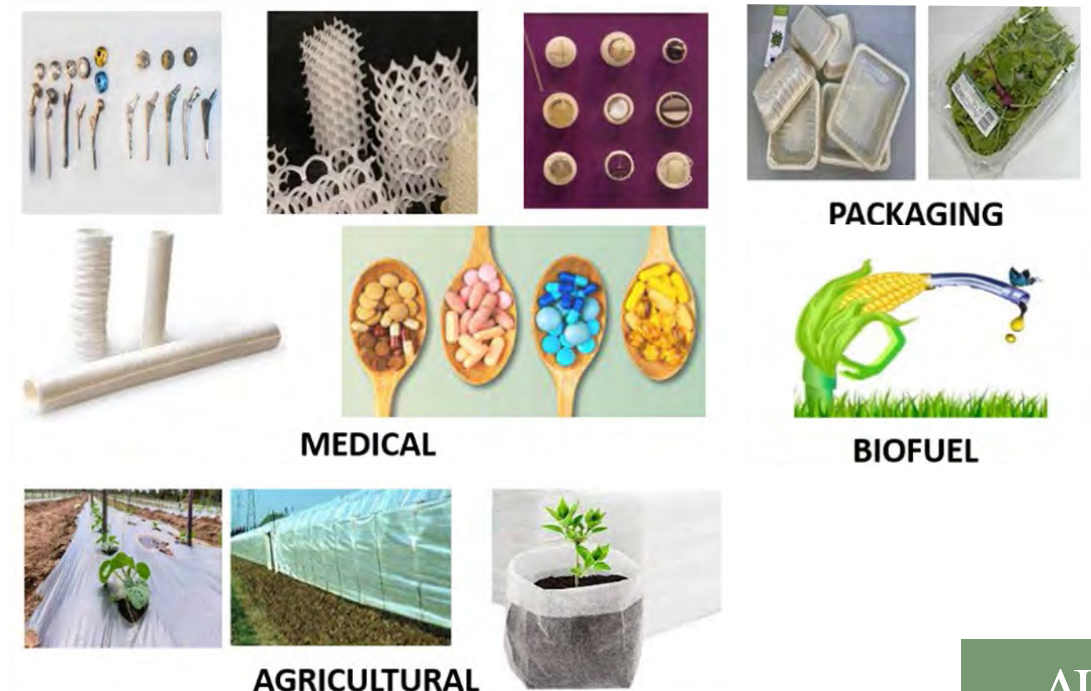
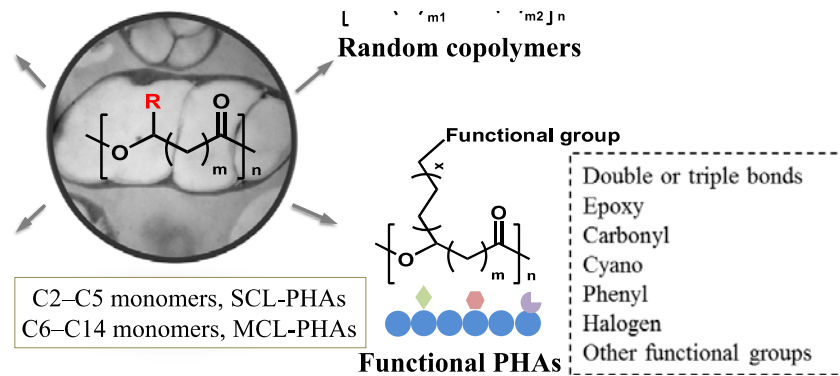
Caso studio: i Polioidrossialcanoati (PHA), bioplastiche bio-based e biodegradabili

I PHA possono essere considerati 3 volte “bio” in quanto bio-based, biodegradabili e di origine microbica.

I PHA sono una **famiglia di poliesteri naturali** sintetizzati da più di 300 specie di microrganismi; sono sintetizzati come riserva interna di carbonio ed energia, sotto forma di granuli (diametro 0.2-0.7 μm) nel citoplasma cellulare. Sono materiali che presentano una elevata versatilità, in quanto le loro proprietà dipendono dalla composizione e distribuzione delle unità monomeriche. I PHA possono essere utilizzati in svariati settori industriali: packaging, medicale, agricoltura, ecc.

Dati di letteratura (Pandey et al., 2022), stimano che la produzione di 1 kg di PHA può far risparmiare fino a 2 kg di CO_2 emessa e circa 30 MJ di risorse fossili rispetto alla materie plastiche prodotte dal petrolio.

La diffusione su larga scala dei PHA è attualmente limitata dall'elevato costo di produzione (processi industriali basati su impiego di colture axeniche); sarà possibile diminuire i costi impiegando processi biotecnologici basati su colture microbiche miste e matrici di scarto.



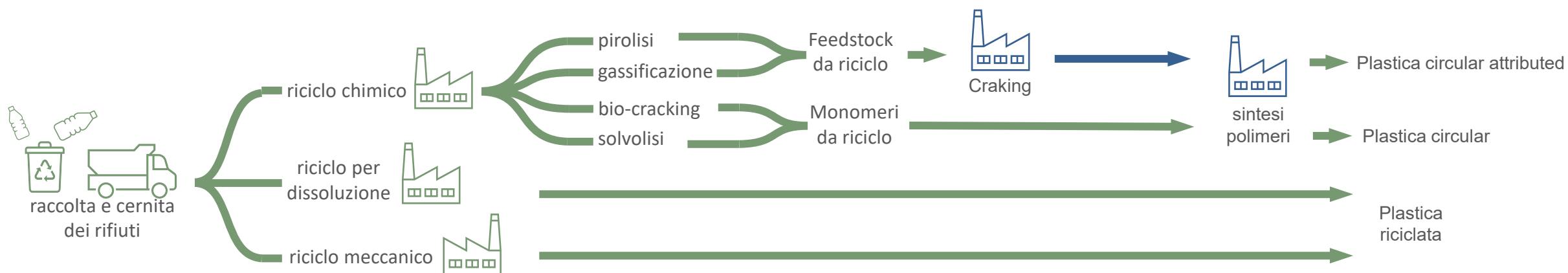
5. Le tecnologie emergenti

Le vie del riciclo

La Direttiva Quadro sui Rifiuti e successivi emendamenti definiscono il riciclo come “qualsiasi operazione di recupero mediante il quale i materiali di scarto vengono rielaborati in prodotti, materiali o sostanze, sia per lo scopo originario o altri scopi. Non include il recupero energetico e il ritrattamento in materiali da utilizzare come combustibili o per operazioni di riempimento”.

Attualmente le principali filiere di riciclo (la maggior parte con impiego di **Riciclo Meccanico**) si focalizza su **alcune materie plastiche** ed in particolare su **alcuni manufatti** facili da individuare e separare (bottiglie e flaconi). Il **numero di “ricicli”** con queste tecnologie è tuttavia potenzialmente **limitato** dal progressivo calo delle caratteristiche prestazionali che ogni passaggio di riciclo determina.

Con il **riciclo chimico** sono state sviluppate soluzioni **complementari al riciclo meccanico** per valorizzare rifiuti plastici misti o contaminati che sarebbero altrimenti **destinati a termovalorizzazione o discarica**. Tramite questi processi il rifiuto plastico è trasformato in una nuova materia prima che può essere reintrodotta in differenti punti del processo tradizionale di produzione per **produrre nuova plastica con caratteristiche e prestazioni equivalenti a quella vergine (da fonte fossile): teoricamente il riciclo chimico permette di riciclare il materiale infinite volte**.

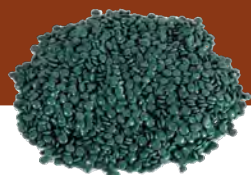


5. Le tecnologie emergenti

Le principali tecnologie di riciclo

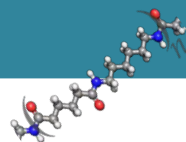
Il **RICICLO MECCANICO** è il processo di rifusione e miscelazione (calore e shear) che permette di ottenere un nuovo materiale che può essere utilizzato come plastica. Questo processo, svolto con estrusori, generalmente non spezza le catene polimeriche; tuttavia una piccola frazione del polimero si degrada. La purezza e le prestazioni del prodotto finale sono variabili in funzione del rifiuto processato. Nel caso vengano riciclati anche i materiali compositi tramite macinazione, questi rimangono come fillers nei materiali compositi vergini.

- Processo: fusione in estrusore e pelletizzazione
- Input: **plastiche specifiche**
- Output: **materia plastica**



La **DISSOLUZIONE** (noto anche come riciclo fisico) è un'operazione di recupero in cui i rifiuti di plastica vengono trattati con solventi e altri agenti chimici, causando la dissoluzione e la separazione dei polimeri dal resto dei rifiuti. Lo scopo di questa operazione è quello di separare i polimeri, o anche gli additivi, senza causare la rottura delle catene polimeriche. Questo permette di ottenere materiali separati che possono poi essere riutilizzati direttamente come materiale polimerico.

- Processo: dissoluzione e purificazione catene polimeriche
- Input: **monoprodotto** ad elevata purezza
- Output: **polimero**



Il **RICICLO CHIMICO** o **MOLECOLARE**, secondo la ISO 15270:200823, è la "conversione a monomero o la produzione di nuove materie prime modificando la struttura chimica dei rifiuti di plastica attraverso il cracking, la gassificazione o la depolimerizzazione, ad esclusione dei processi finalizzati al recupero di energia o all'incenerimento. Maggiori dettagli vengono forniti nella pagina successiva.

- Processo: **vari**
- Input: in funzione del processo
- Output: prodotti vari

Pirolisi

Gassificazione

Solvolisi

Bio-cracking



5. Le tecnologie emergenti

I diversi processi del riciclo chimico

TERMOLISI

L'obiettivo di questi processi è quello di spezzare le catene polimeriche per via termica, talvolta anche mediante l'impiego di catalizzatore, al fine di ottenere molecole organiche a basso peso molecolare, utilizzabili come nuovi feedstock. Le principali tecnologie sono: la **pirolisi** (effettuata in assenza di ossigeno) e la **gassificazione** (con ossigeno). La termolisi avviene in condizioni controllate, in modo da evitare la combustione totale della parte organica. È sostanzialmente applicabile alla maggior parte delle materie plastiche. Entrambi i processi consentono di riciclare i rifiuti di **'plastica mista'**. Nel caso della pirolisi sono preferiti rifiuti plastici con elevato contenuto di PE, PP e PS, poiché la maggiore percentuale di legami C-C migliora la resa del processo. I prodotti in uscita ottenuti per pirolisi e gassificazione (rispettivamente olio di pirolisi e gas di sintesi) vengono reintrodotti nelle filiere produttive, in sostituzione delle materie prime tradizionali (da fonte fossile) per ottenere nuovi prodotti.

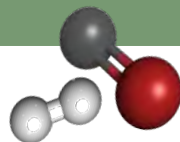
PIROLISI

- Processo: **termico** ad alte temperature in ambiente **riducente**
- Input: **plastiche miste** (possibili criticità su PVC, PET)
- Output: **r-oil** (olio da pirolisi)



GASSIFICAZIONE

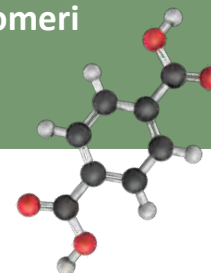
- Processo: **termico** ad alte temperature in ambiente **ossidante**
- Input: qualunque fonte di C (da Carbone a rifiuti)
- Output: **Syngas** ($\text{CO} + \text{H}_2$)



SOLVOLISI

In questo processo (talvolta chiamato depolimerizzazione) le catene polimeriche vengono scomposte nei monomeri di partenza (o in oligomeri), mediante l'azione di un reagente (che può essere un solvente) ed in alcuni casi l'impiego di catalizzatori. Il processo di solvolisi è selettivo rispetto ai polimeri (spesso applicato a quelli ottenuti per policondensazione), quindi viene applicato a rifiuti mono-materiali come PET, PA, PU, polimetilmetacrilato (PMMA) o acido polilattico (PLA).

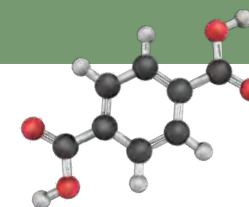
- Processo: mediante reagente di depolimerizzazione
- Input: **rifiuti monomateriale** (PET, PA, PU, PMMA, PLA)
- Output: **monomeri**



BIO-CRACKING

In questo processo la rottura della catena polimerica avviene attraverso l'uso di enzimi (biocatalizzatori), che in generale possono degradare sia polimeri ottenuti per poliaddizione che per policondensazione in monomeri o oligomeri a basso peso molecolare. Gli enzimi (come molti catalizzatori) sono altamente selettivi e vanno selezionati/sviluppati in funzione della natura chimica del polimero. Attualmente esistono tecnologie basate su cracking biologico per riciclare fibre di PET e poliestere24.

- Processo: mediante azione biologica enzimatica di depolimerizzazione
- Input: **fibre di PET, poliestere24**
- Output: **monomero**



5. Le tecnologie emergenti

Le tecnologie di riciclo a confronto

Il riciclo meccanico è ad oggi la tecnologia più utilizzata per il recupero di materiali plastici a fine vita. Tuttavia, il suo impiego rimane potenzialmente limitato ad alcune tipologie di plastiche ben selezionabili. Le frazioni di rifiuti cosiddette di 'plastica mista', costituite da diverse tipologie di polimeri differenti che non possono essere ulteriormente separati (plasmix), di norma vengono termovalorizzate per produrre vapore o energia elettrica.

Questi tipi di rifiuti plastici (**plasmix**) possono essere **valorizzati in modo più sostenibile mediante il riciclo chimico**.

Uno **studio LCA** condotto da Sphera per BASF, afferma che il **riciclo chimico dei rifiuti di 'plastica mista'** (nel caso dello studio si analizza la pirolisi) **consente di ridurre del 50% le emissioni complessive di CO₂ rispetto** ad una filiera che prevede **la termovalorizzazione**.

Lo studio confronta anche le emissioni di CO₂ delle materie plastiche prodotte con olio di pirolisi con approccio 'mass balance' con le plastiche convenzionali prodotte a partire da nafta fossile. La plastica ottenuta mediante riciclo chimico comporta emissioni di CO₂ significativamente inferiori rispetto a quelle prodotte da risorse fossili (soprattutto perché ne evita l'incenerimento a fine uso).

Infine lo stesso studio LCA dimostra che la produzione di materie plastiche tramite riciclo chimico (pirolisi) o meccanico comporta emissioni di CO₂ più o meno simili.

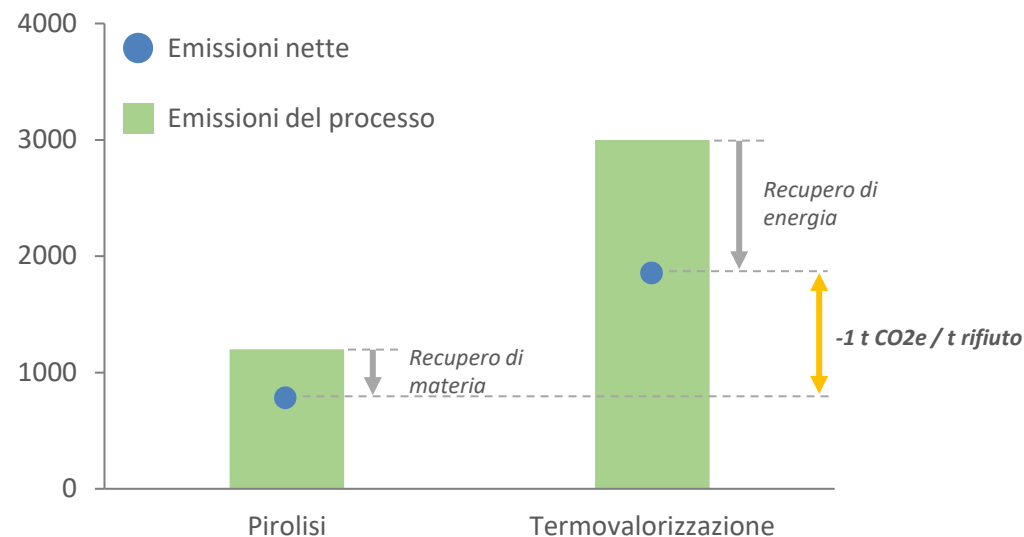
Analoghi risultati sono mostrati anche in uno studio di CE Delft commissionato dal governo olandese.

Stream da raccolta differenziata e sorting

	PE	PP	PET	PS	PA	PC	PU	GRP	CFRP	Plasmix
Riciclo meccanico	applicato, applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile						
Dissoluzione				applicato, applicabile						
Pirolisi	applicato, applicabile	applicato, applicabile	potenzialmente applicabile	applicato, applicabile	potenzialmente applicabile	potenzialmente applicabile	potenzialmente applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile
Gassificazione	applicato, applicabile	applicato, applicabile	potenzialmente applicabile	applicato, applicabile	potenzialmente applicabile	potenzialmente applicabile	potenzialmente applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile
Solvólisi			applicato, applicabile		applicato, applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile	applicato, applicabile	
Bio-cracking			applicato, applicabile							

■ applicato, applicabile ■ potenzialmente applicabile

Emissioni CO₂ [kg CO₂e / t rifiuti plastici]



5. Le tecnologie emergenti

Certificazioni ‘Mass Balance’

In generale esistono due possibili modalità per attribuire un feedstock circolare o rinnovabile (base biologica) ad un prodotto finale: segregare fisicamente la produzione lungo tutta la catena del valore ("segregazione fisica") oppure mescolare il feedstock sostenibile con quello tradizionale e attribuire la parte sostenibile con un approccio di tipo contabile (approccio ‘mass balance’).

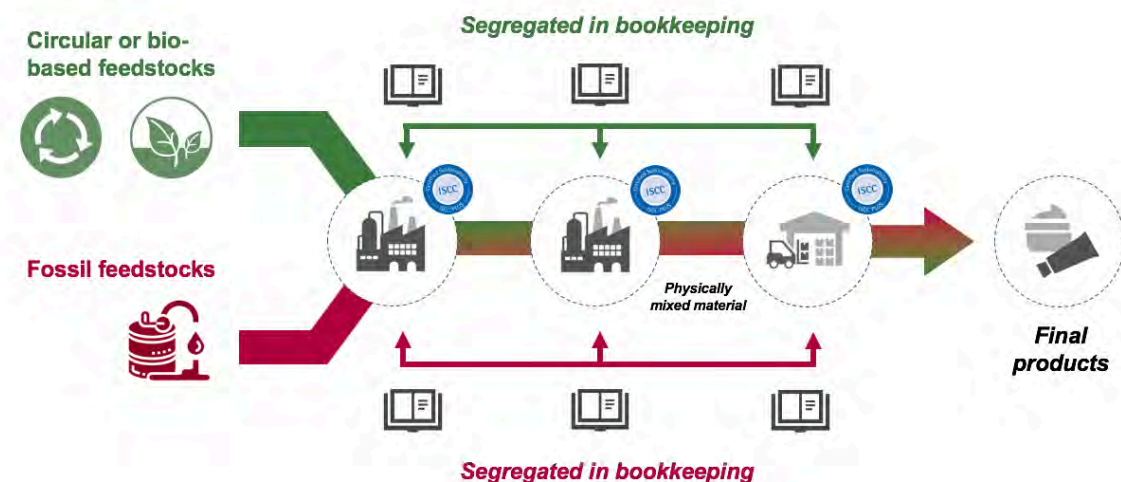
In questo secondo caso, per poter tracciare l'impiego di materiali da riciclo in catene del valore particolarmente complesse (filieri industriali), sono state sviluppate **regole di certificazione internazionali basate sul concetto del ‘bilancio di materia’**.

Poiché **per poter garantire la minima capacità produttiva di impianti esistenti**, le **materie prime** da riciclo o da **rinnovabili sono normalmente miscelate ai feedstock tradizionali**, la **segregazione fisica** del contenuto riciclato è spesso praticamente o economicamente **impraticabile**. Pertanto, negli ultimi anni, l'approccio ‘mass balance’ ha preso sempre più piede e sono nate numerose certificazioni. Le più note e riconosciute a livello internazionale sono: ISCC Plus, REDcert2 e 2BSvs

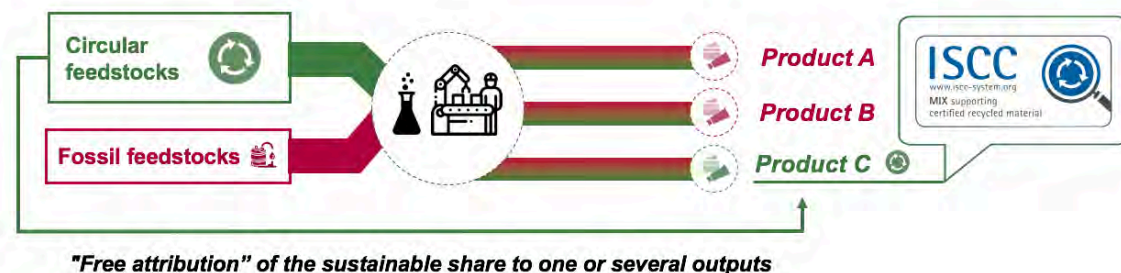
L'approccio ‘mass balance’ **consente di tracciare la quantità e le caratteristiche di sostenibilità** dei contenuti circolari e/o rinnovabili nella catena del valore e di **attribuirli sulla base di una contabilità verificabile**.

Uno dei principali vantaggi di questo approccio è la possibilità di aumentare gradualmente la quota di materie prime rinnovabili e/o circolari nel processo di produzione, sfruttando le infrastrutture industriali già esistenti.

The mass balance approach along the supply chain



“Free attribution” of circular feedstocks



5. Le tecnologie emergenti

Le tecnologie emergenti

Conclusioni:

1

Negli ultimi vent'anni sono state avviate e sviluppate nuove tecnologie finalizzate alla **riduzione del 'carbon footprint' dei materiali plastici**, che possono essere raggruppate in due macrocategorie: impiego di **feedstock di origine biologica** e **valorizzazione dei rifiuti plastici a nuove materie prime** mediante tecnologie di **riciclo**.

2

Sebbene oggi la produzione di **bioplastiche** e **materiali bio-attribuiti** è ancora molto limitata, il settore è in rapida espansione e **potrà rappresentare un importante leva di decarbonizzazione in futuro**.

3

La sostenibilità dell'intero ciclo di vita delle plastiche può essere raggiunta tramite **la realizzazione di un concreto modello circolare**. Ciò sarà possibile grazie all'implementazione di **tecnologie di riciclo complementari (meccanico, fisico e chimico)** che permettano di valorizzare i rifiuti a nuova materia prima, senza penalizzare l'economicità e le prestazioni dei manufatti finali.

6.

Le iniziative di sostenibilità nel settore

6. Le iniziative di sostenibilità nel settore

L'economia circolare rappresenta una spinta per lo sviluppo di **nuove iniziative finalizzate a rendere sempre più sostenibile il mondo delle plastiche**.

Molte associazioni di categoria e consorzi hanno lanciato progetti per incentivare la **collaborazione** e la **partecipazione** di tutti gli stakeholder e favorire la **condivisione di know-how ed esperienze**. A titolo d'esempio CEFIC promuove lo sviluppo di un'economia circolare e COREPLA ha lanciato l'iniziativa RiVending per riciclare la plastica dei distributori automatici di cibi e bevande.

Alcune iniziative hanno visto la **nascita di vere e proprie alleanze** tra le principali aziende del settore per raggiungere target sempre più ambiziosi su tematiche specifiche:

Circular Plastic Alliance (CPA)

L'Alleanza per la plastica circolare è una piattaforma multistakeholder volontaria lanciata nel 2018 dalla Commissione UE con l'obiettivo di far incrociare domanda e offerta di materie plastiche riciclate (10 milioni di tonnellate al 2025).

CPA conta 300 organizzazioni industriali, accademiche, della società civile e del settore pubblico lungo l'intera catena del valore della plastica.



Alliance to End Plastic Waste (AEPW)

L'alleanza, che conta circa 70 aziende della catena del valore della plastica, è un'organizzazione globale senza scopo di lucro dedicata allo sviluppo, all'implementazione e alla realizzazione di soluzioni su larga scala per ridurre, riutilizzare e recuperare i rifiuti di plastica.



Operation Clean Sweep (OCS)

OCS è un programma volontario (lanciato da Plastics Industry Association negli Stati Uniti sin dal 1991) volto a migliorare la consapevolezza, promuovere le migliori pratiche e fornire strumenti per aiutare le aziende del settore plastica nell'attuare le misure di prevenzione della perdita di pellet (granuli di plastica).

L'industria della plastica deve garantire il contenimento dei prodotti che manipola, ovvero i pellet, le scaglie e le polveri di plastica. Per aiutare l'implementazione dell'Operazione Clean Sweep® sono stati messi a punto strumenti utili per le aziende come il manuale e le liste di controllo.



6. Le iniziative di sostenibilità nel settore

Styrenics Circular Solutions (SCS)

Styrenics Circular Solutions (SCS) è un'iniziativa congiunta fondata dai principali produttori di stirenici e che riunisce diversi attori della catena del valore degli stirenici, oltre a università, istituti di ricerca e fornitori di tecnologia. Mira a rendere l'economia circolare una realtà per le plastiche stireniche attraverso tecnologie di riciclo e soluzioni innovative.



Polyolefin Circular Economy Platform (PCEP)

Polyolefin Circular Economy Platform è una piattaforma per il dialogo e la cooperazione tra tutte le parti della catena del valore delle poliolefine. L'obiettivo del PCEP è trasformare l'intero sistema delle poliolefine da lineare a circolare attraverso un'azione collettiva volontaria.



6. Le iniziative di sostenibilità nel settore

Le iniziative di sostenibilità nel settore

Conclusioni:

1

L'economia circolare ha definito un **nuovo approccio industriale**, maggiormente basato sulla **collaborazione** e lo sviluppo di **sinergie** con cui è possibile raggiungere obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione sempre più ambiziosi.

2

Numerose aziende del settore e i diversi stakeholders hanno dato vita ad importanti alleanze per migliorare aspetti specifici di sostenibilità, come ad esempio il rilascio di pellet di plastica nell'ambiente o il riciclo dei materiali a fine vita.

7.

Conclusioni

7. Conclusioni

1

La **famiglia delle plastiche** comprende **un'ampia gamma di materiali**, caratterizzati da proprietà specifiche, quali ad esempio, **leggerezza, resistenza ed economicità**. Tali proprietà rendono le plastiche **insostituibili** in numerose applicazioni e hanno contribuito a rendere la nostra vita più **facile, sicura, sana, economica** e in molti settori più **sostenibile**.

2

La **gestione dei rifiuti** di materiali plastici è un tema centrale per la **sostenibilità di tutta la filiera**: le istituzioni e il settore industriale hanno già avviato azioni per **incrementare la circolarità** di questi materiali e **ridurre la dispersione di microplastiche** nell'ambiente, con risultati importanti specialmente in Europa. Tuttavia sono necessari ulteriori sforzi per raggiungere i target prefissati.

3

Per incrementare la sostenibilità delle materie plastiche non esiste un'unica soluzione: è necessario ripensare all'intero **ciclo di vita** dei materiali, dalla progettazione, alla produzione ed utilizzo, sino al riciclo finale. Utilizzando un **approccio scientifico**, tutti gli stakeholder ad ogni step della filiera, possono dare il proprio contributo.

4

La ricerca e l'innovazione sono la chiave per superare le importanti sfide che il settore delle plastiche ha di fronte: le **materie prime rinnovabili** e le **tecnologie di riciclo avanzato** rappresentano valide soluzioni e il loro sviluppo può essere accelerato grazie alle numerose **alleanze** e associazioni che sono nate negli ultimi anni.

8.

Abbreviazioni e glossario

Abbreviazioni e Glossario

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrene	PE	Poyetilene
AR	Acrylic resins	PE-LD/LLD	Polyethylen Low Density/Linear Low Density
BR	Butadiene Rubber	PE-HD/MD	Polyethylen High Density/Medium Density
CAGR	Compounded Annual Growth Rate	PEF	polietilene furanoato
CFRP	Carbon fibre reinforcement	PET	Polyethylene Terephthalate
CPA	Circular Plastics Alliance	PEX	Cross-linked polyethylen
EEA	European Economic Area	PLA	Acido polilattico
ELV	End-of-Life Vehicles	PHA	poliidrossialcanoati
ER	Epoxy resins	PMMA	Polymethylmethacrylate
EPR	Ethylene Propylene Rubber	POM	Polyoxymethylene
EPR	Extended Producer Responsibility	PP	Polypropylene
EPS	Expanded polystyrene	PPS	Polyphenylensulfphone
EVA	Ethylene vinylacetate	PPWD	Packaging and Packaging Waste Directive
EU27+3	27 Stati membri EU, Norway, Switzerland e UK	PR	Phenolic resins
GFRP	Glass fibre reinforcement	PS	Polystyrene
IPF	International patent family	PSU	Polysulphone
LCA	Life cycle assesment	PTFE	Polytetrafluoroethylene
Kt	kilo tonnes	PUR	Polyurethane
Mt	million tonnes	PVC	Polyvinyl Chloride
PA	Polyamide	PVDF	Polyvinylidenfluoride
PBAT	polibutilene adipato tereftalato	SAN	Styrene-Acrylonitrile
PBS	polibutilene succinato	SBR	Styrene butadiene Rubber
PBT	Polibutilentereftalato	UPR	Unsaturated polyester resins
PC	Polycarbonate	VER	Vinylester resins
PCL	policaprolattone	WEEE	Waste from Electrical and Electronic Equipment

Cracking Processo industriale al quale vengono sottoposte varie frazioni petrolifere, o altre sostanze organiche, allo scopo di spezzare le molecole idrocarburiche più grandi (a maggior peso molecolare) e ottenere miscele di idrocarburi più leggeri (a minor peso molecolare), ad esempio composte da monomeri come etilene, propilene ecc., utilizzate nelle varie filiere dell'industria chimica.

Plasmix: un "insieme di plastiche eterogenee incluse negli imballaggi post-consumo e non recuperate come singoli polimeri" che possono essere usate per produrre granuli da riciclo a base poliolefinica.

Polimerizzazione: Processo chimico mediante il quale si ottiene un polimero a partire da sostanze a basso peso molecolare (monomeri); avviene in fase liquida solida o gassosa e in presenza o no di catalizzatori per reazione di **poliaddizione** (i monomeri si uniscono in maniera additiva senza eliminazione di prodotti secondari) o di **policondensazione** (in fase di unione dei monomeri vengono rilasciate piccole molecole come ad esempio acqua); quando avviene a partire da monomeri diversi è detta copolimerizzazione.

9.

Schede di approfondimento

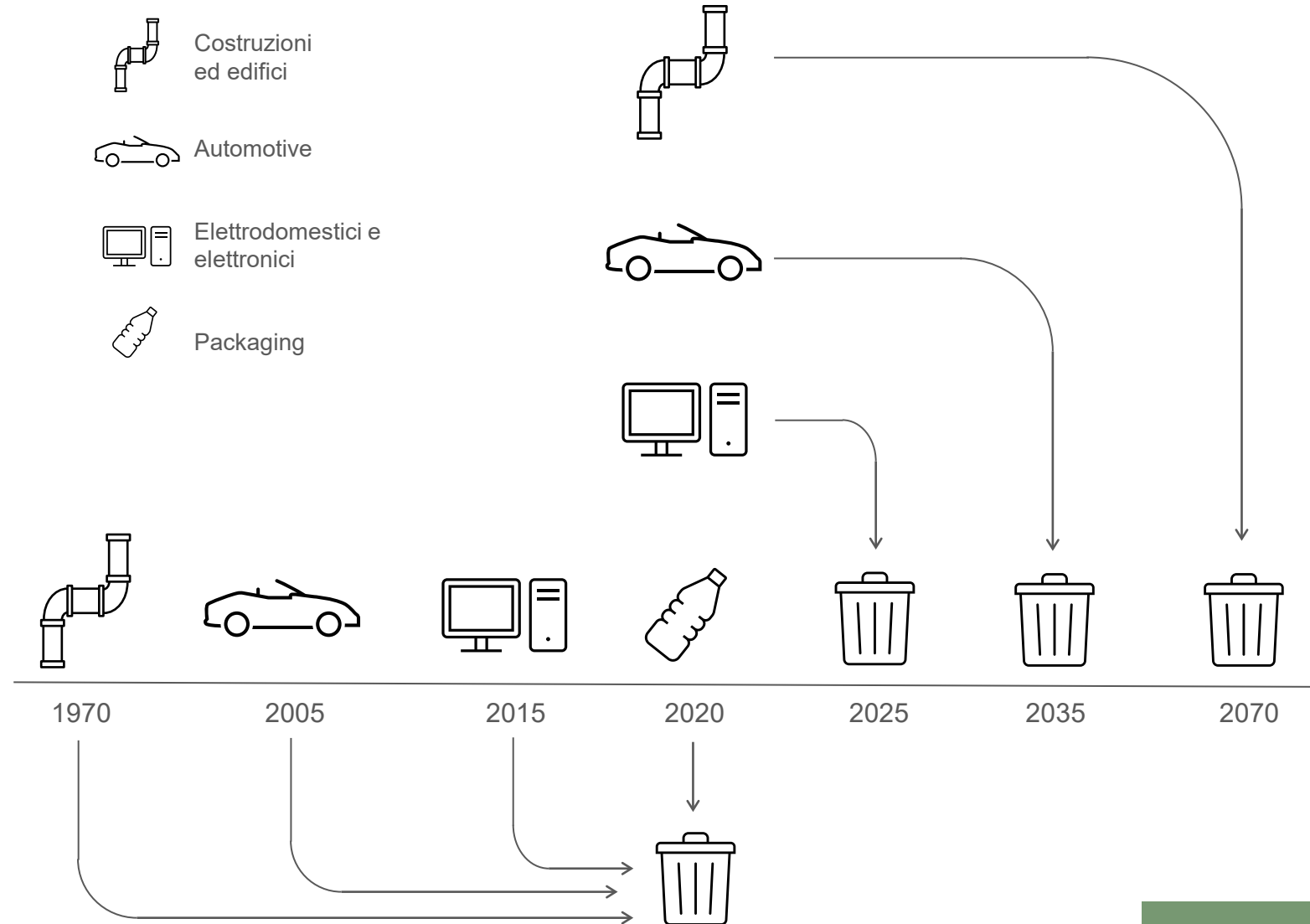
9. Schede di approfondimento

Vita utile dei prodotti in plastica

La 'vita utile' degli oggetti realizzati con materiali plastici è **molto variabile** e dipende dalla funzione del manufatto. Come detto in precedenza, le plastiche sono materiali resistenti e durevoli; ciononostante alcuni oggetti vengono impiegati una sola volta (si pensi agli usa e getta) mentre altri rimangono in uso per molto tempo (es. pannelli isolanti, cavi, automobili, dispositivi elettrici ed elettronici, ecc.) ed entrano nella filiera dei rifiuti solamente dopo molto anni rispetto a quando sono stati immessi nel mercato.

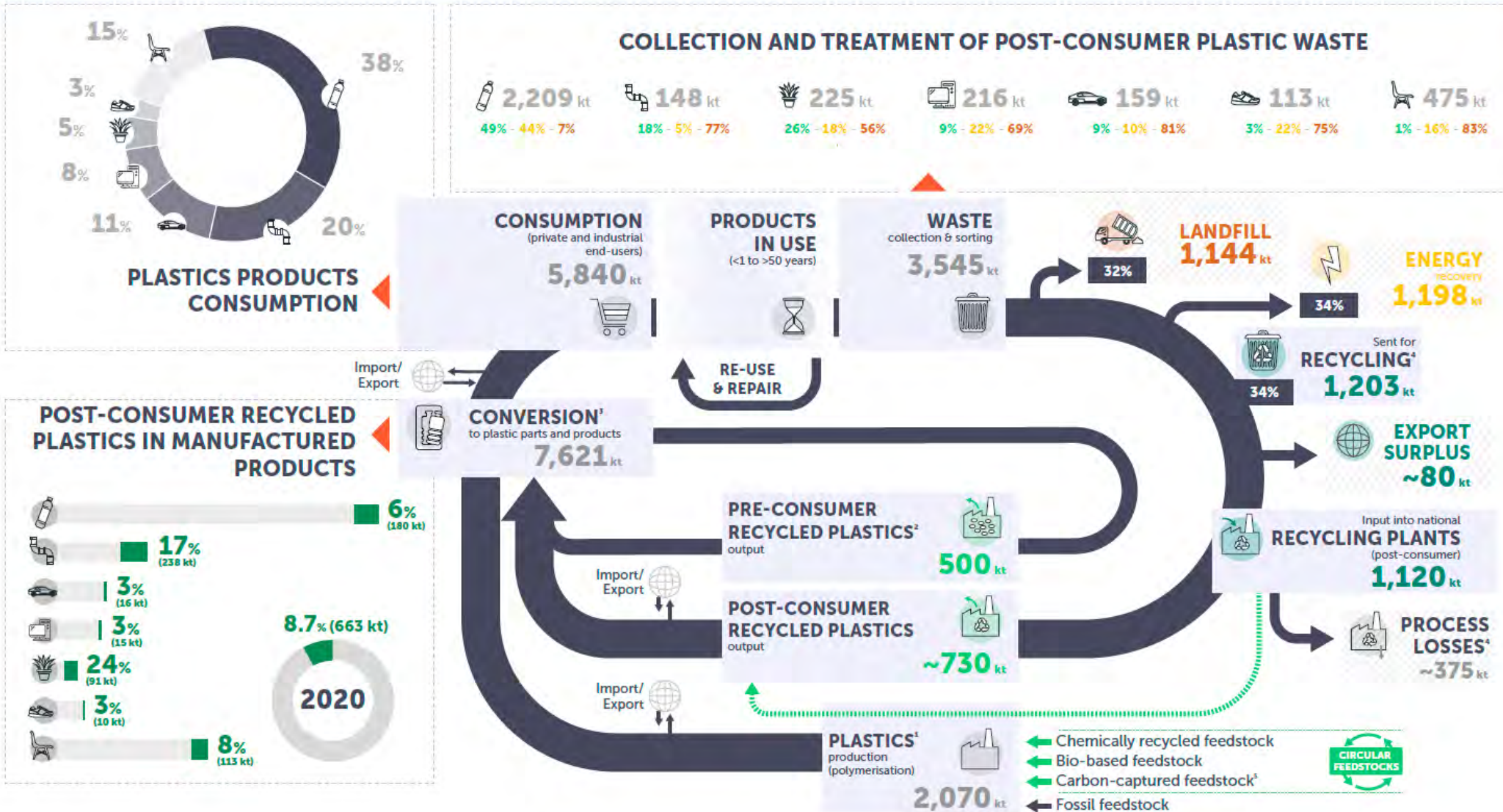
Questo comporta ad esempio che i rifiuti raccolti nel 2020 potrebbero essere entrati nel mercato decenni prima (ad esempio vecchio frigorifero, materasso usato, ecc.).

La durata variabile degli oggetti in plastica, assieme al trend in crescita della produzione, **aiuta a spiegare perché le quantità di rifiuti raccolti** in un determinato anno è di **norma inferiori alla quantità di materiali plastici** prodotti lo stesso anno.



9. Schede di approfondimento

FLUSSI Materiali plastici in ITALIA nel 2020



I dati relativi al consumo e ai rifiuti di imballaggi in plastica utilizzati per il grafico accanto sono stati estrapolati sulla base dei dati disponibili del 2019.

- Non include elastomeri, adesivi, rivestimenti e sigillanti.
- I rifiuti di plastica pre-consumo provengono dalla produzione e trasformazione della plastica
- Include: 6.455 kt derivanti dalla produzione di plastica (polimerizzazione), 503 kt di plastica riciclata pre-consumo e 663 kt di plastica riciclata post-consumo
- Le perdite di processo vengono generalmente inviate al recupero energetico o alla discarica. Parti di residui di plastica potrebbero essere una potenziale fonte futura per il riciclo chimico.
- Tecnologie di cattura e uso del carbonio (ad es. CO2) per la produzione di plastica non sono ancora utilizzate in Italia.

9. Schede di approfondimento

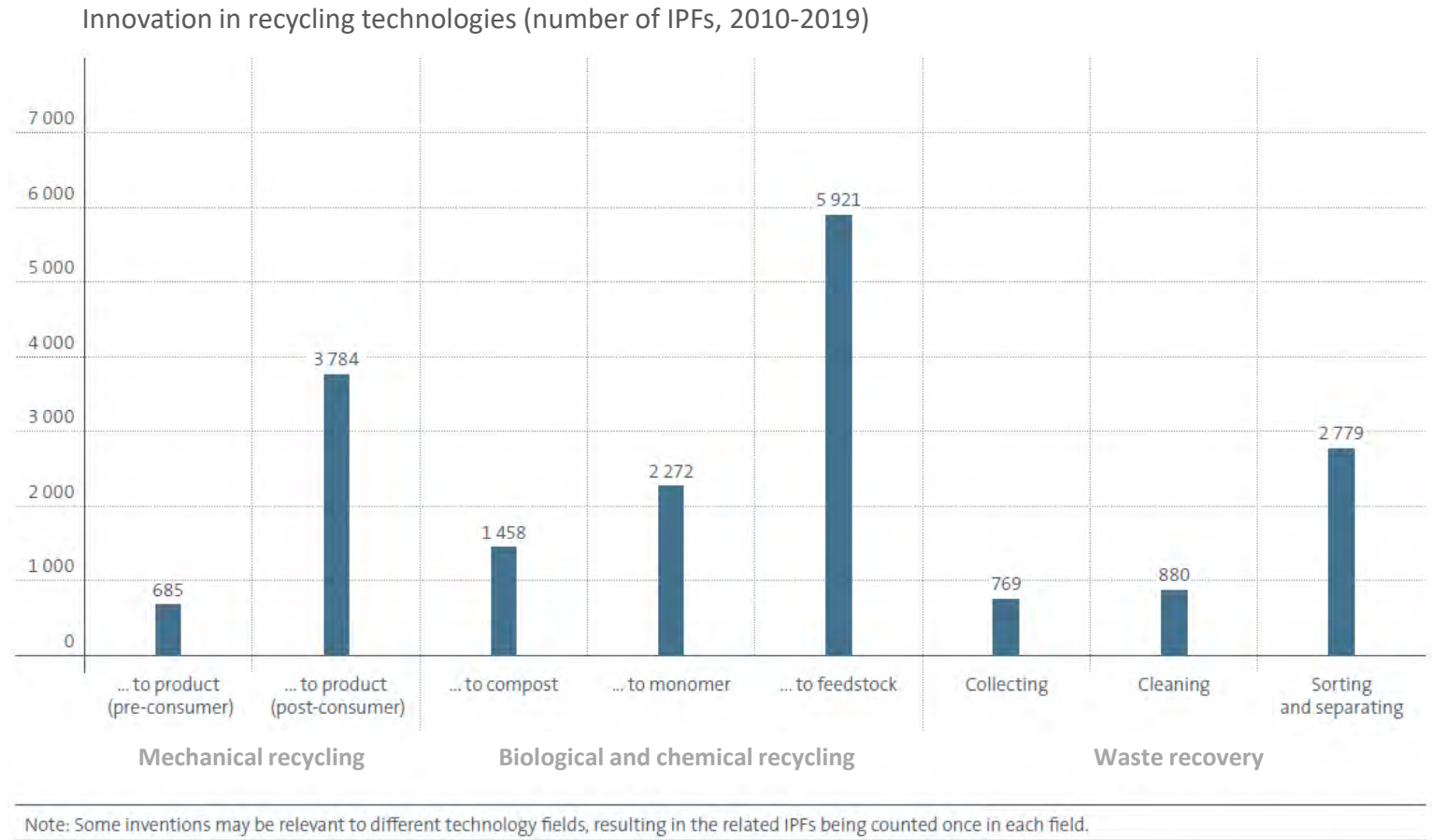
La brevettazione delle nuove tecnologie per il riciclo

Il **riciclo meccanico** è attualmente la soluzione più semplice e **più comunemente utilizzata** per trasformare i rifiuti di plastica in nuovi prodotti. Ha generato quasi 4 500 IPF dal 2010 al 2019, con una crescente attenzione ad affrontare i problemi legati alla riduzione delle performance del materiale plastico riciclato.

I metodi di **riciclo chimico e biologico**, con oltre 9 000 IPF nello stesso periodo, **sono quelli che registrano un maggior numero di IPF.**

Da sottolineare che il picco nell'innovazione è stato registrato nel 2014.

Tutti questi metodi richiedono un recupero efficace dei rifiuti di plastica (circa 3 400 IPF dal 2010 al 2019), in cui vengono identificate, separate e pulite diverse categorie di materie plastiche prima del riciclo. In questo ambito sforzi di innovazione si concentrano principalmente sulla cernita e la separazione dei rifiuti, compreso l'uso di tecnologie sofisticate come il riconoscimento ottico e l'intelligenza artificiale (AI).



Source: European Patent Office