

VERSO IL 2050

Con le scuole per un futuro sostenibile

16 febbraio 2022

NUOVA VITA AGLI SCARTI VEGETALI

Innovazione e tecnologia per ottimizzare
i processi dell'economia circolare

Perotto Giovanni
Ricercatore Istituto Italiano di Tecnologia

16 febbraio 2022



Indice

01	Che cos'è la plastica	4
02	Bioplastiche	15
03	Economia Circolare	27
04	Attività didattiche	53

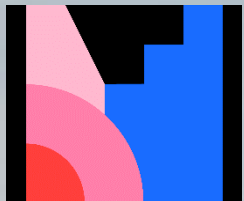
Che cos'è la plastica?

Conosciamola un po'

Che cos'è la Plastica

Cosa intendiamo quando parliamo di plastica?





Quali tipi di plastica avete
incontrato stamattina?



Che cos'è la Plastica

Di che cosa è fatta la plastica?

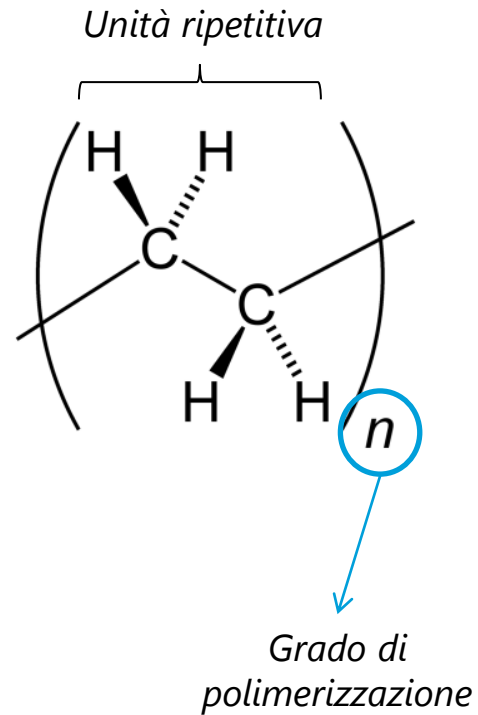


I Polimeri che compongono la plastica sono delle **macromolecole**, la IUPAC definisce macromolecole come: «molecole con una massa molecolare alta, che è fatta essenzialmente di molte unità ripetitive che sono derivate, in senso proprio o in senso concettuale, da molecole di massa piccola.»

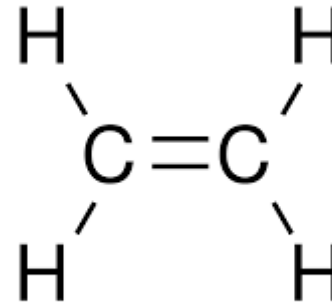
Che cos'è la Plastica

Di che cosa è fatta la plastica?

Polietilene (PE)



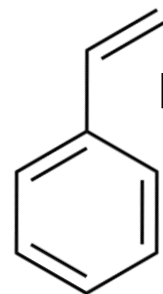
Etilene



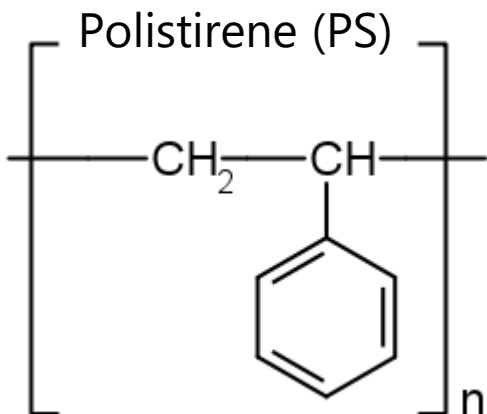
Che cos'è la Plastica

Altri esempi

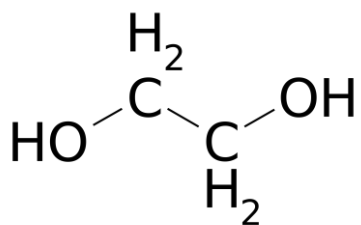
Stirene



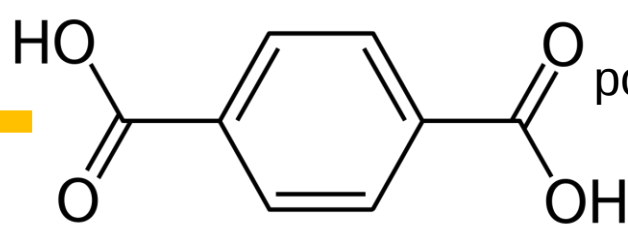
polimerizzazione



Etilen glicole

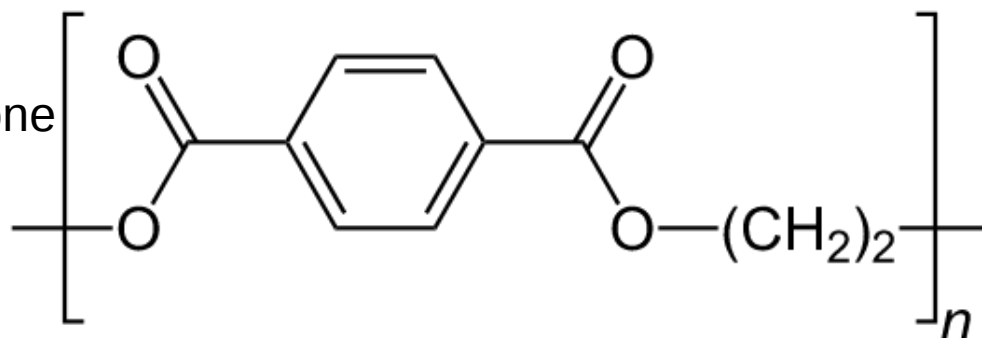


Acido tereftalico

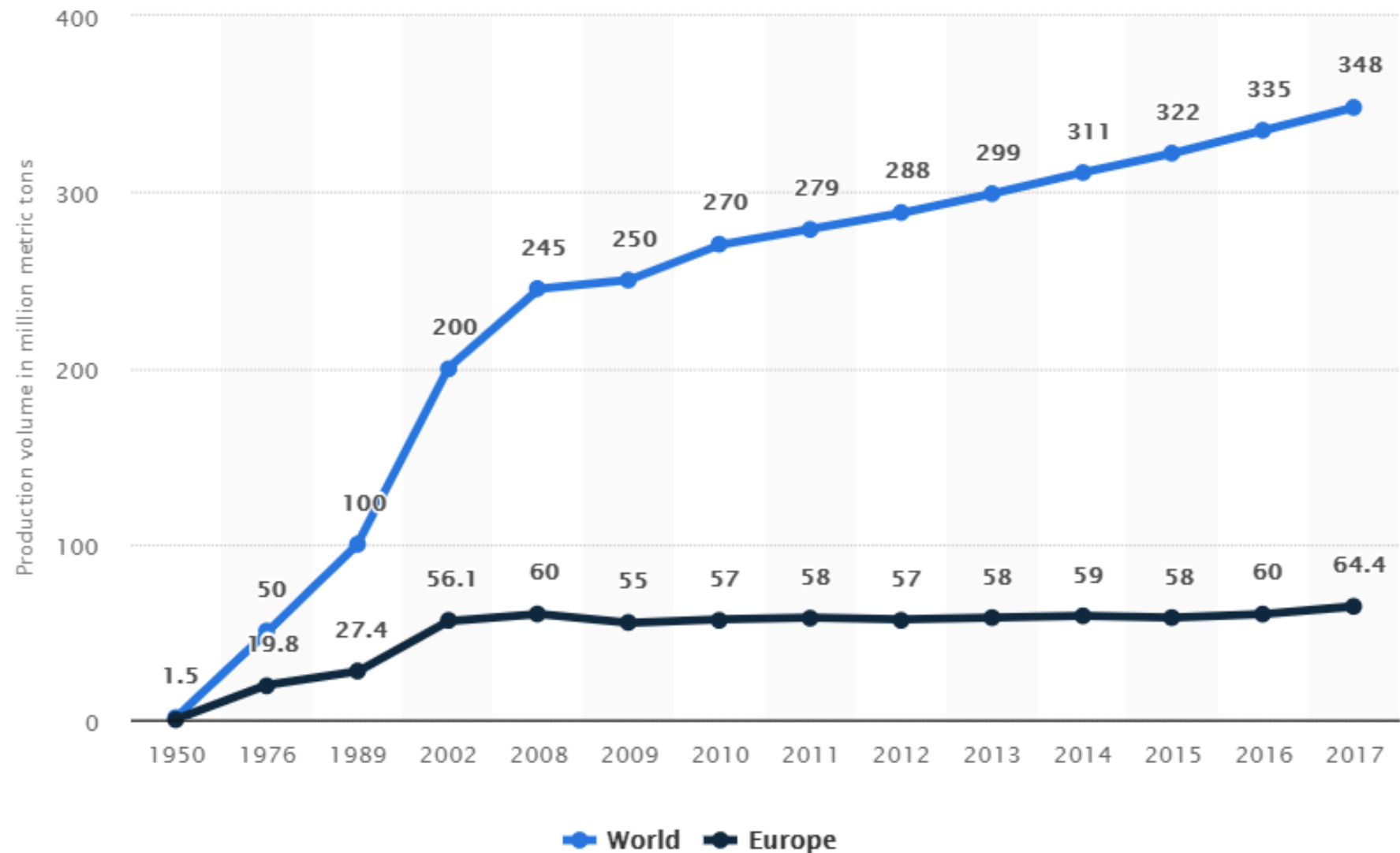


polimerizzazione

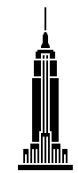
Polietilenetereftalato (PET)



Quanta plastica produciamo?



40.000
Tour Eiffel
(10.100 tons)



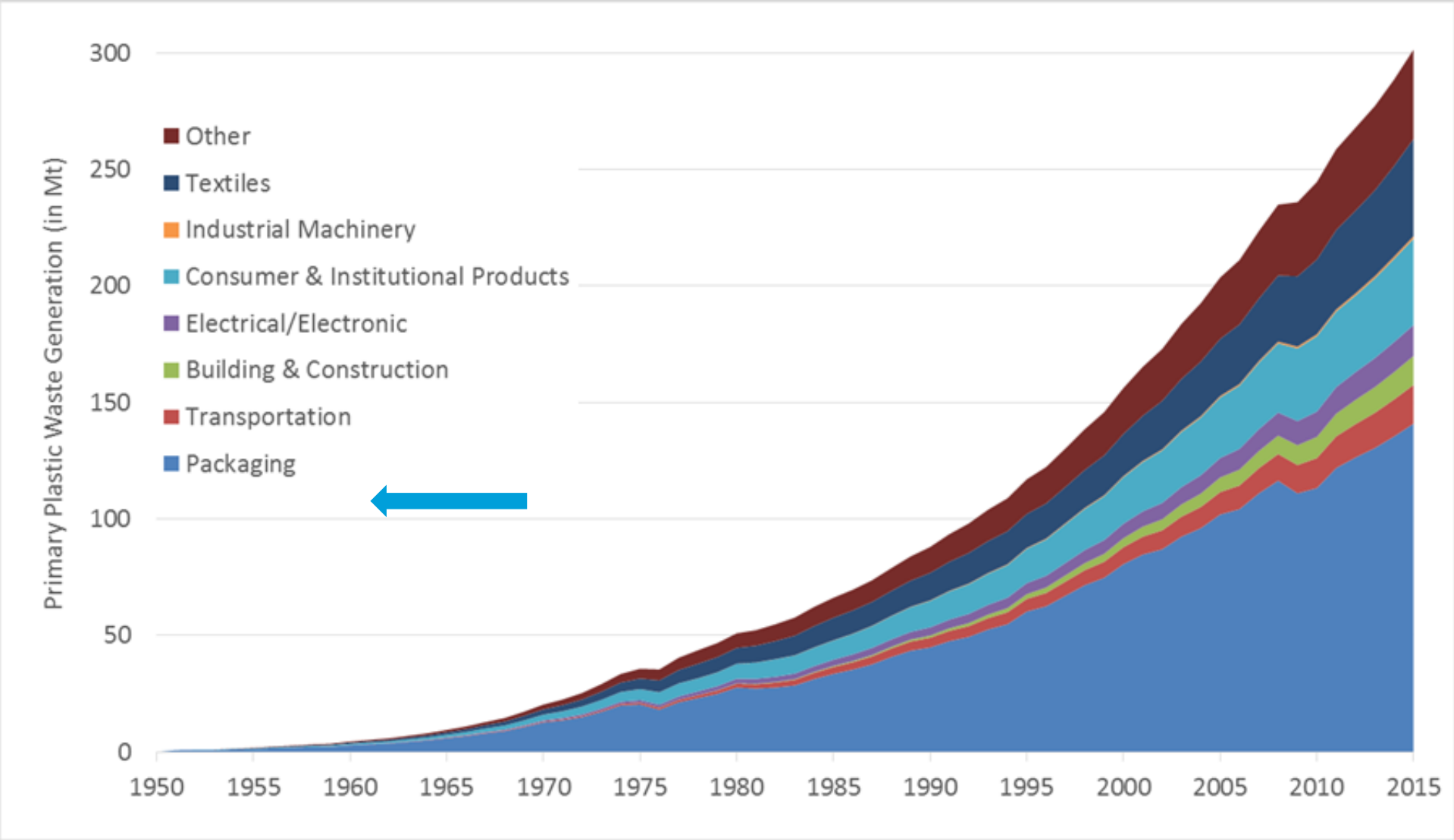
1.500
Empire State Building
(331.000 tons)



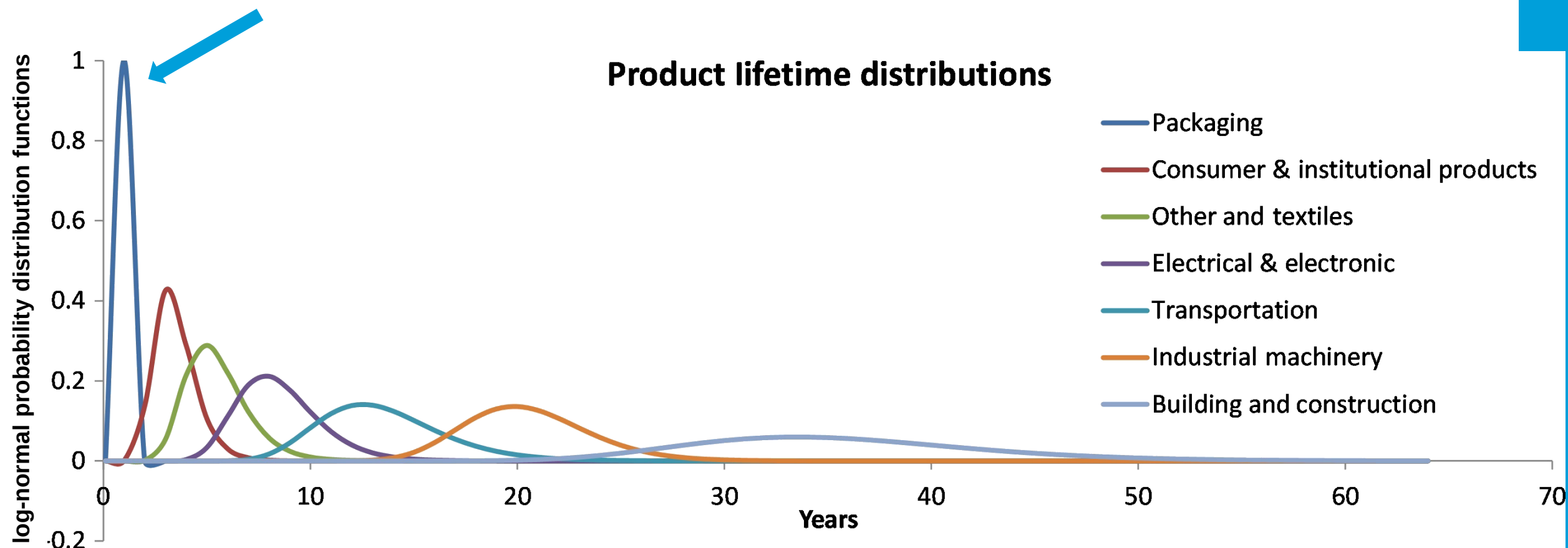
67.000.000
Elephants
(7,5 tons)

Geyer, Jambeck, Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*, 2017

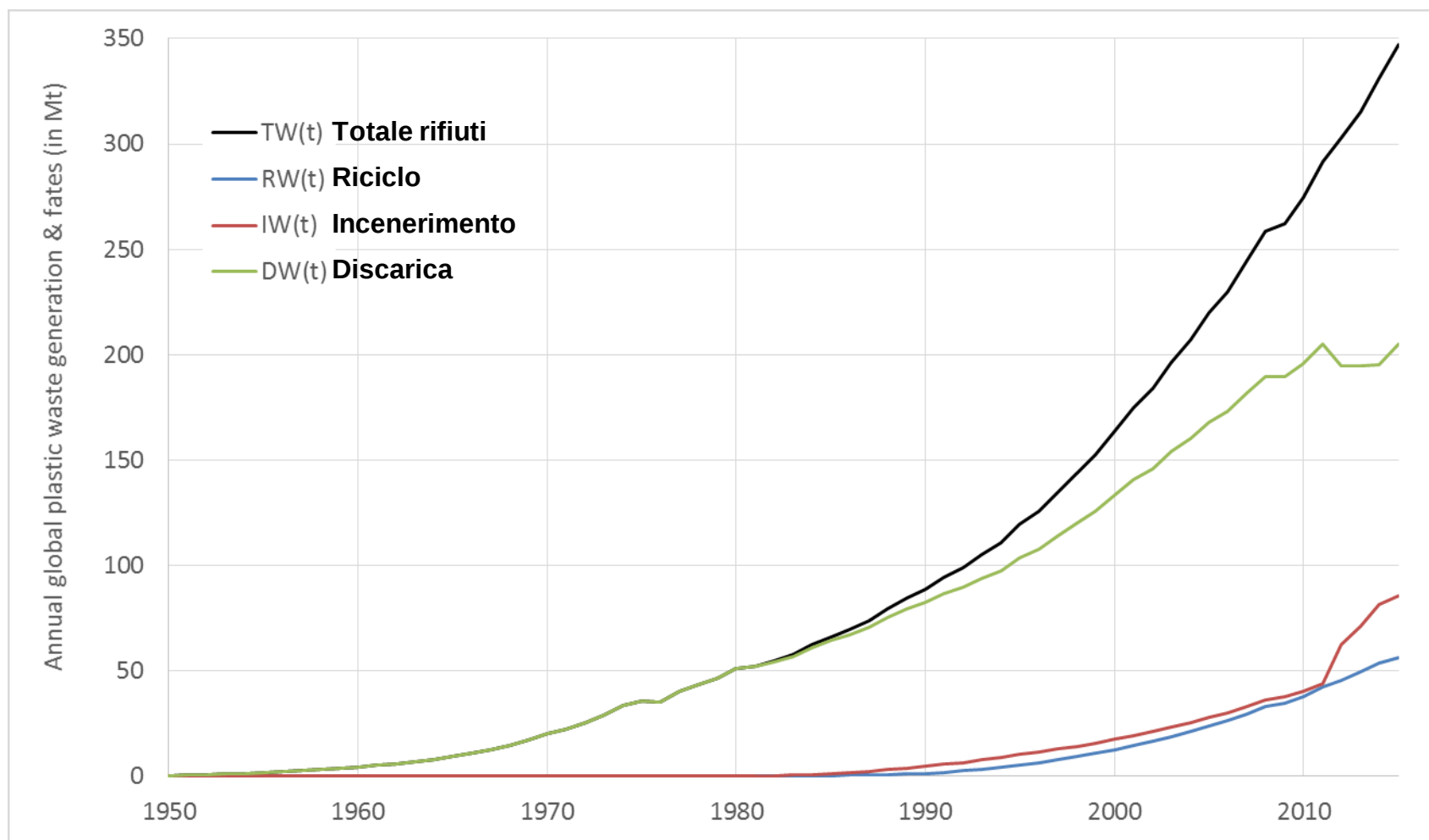
Rifiuto di plastica per varie categorie di prodotti

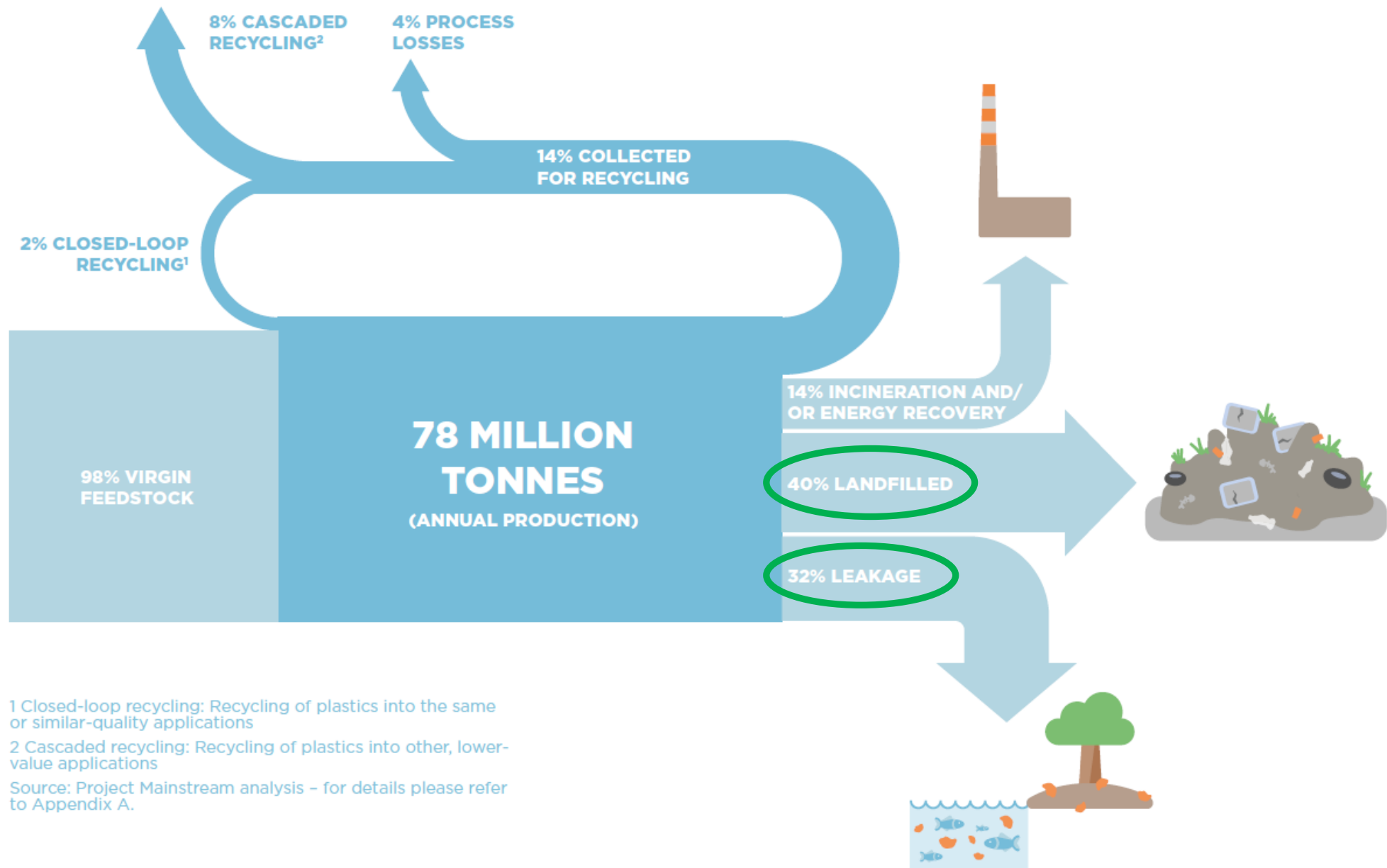


Vita media di prodotti di plastica



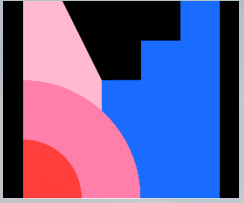
Cosa ne facciamo dei rifiuti di plastica?





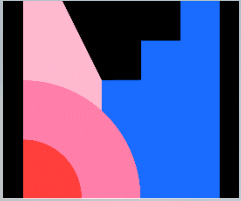
Bioplastiche

Una nuova soluzione?



Hai mai sentito parlare
di bioplastiche?

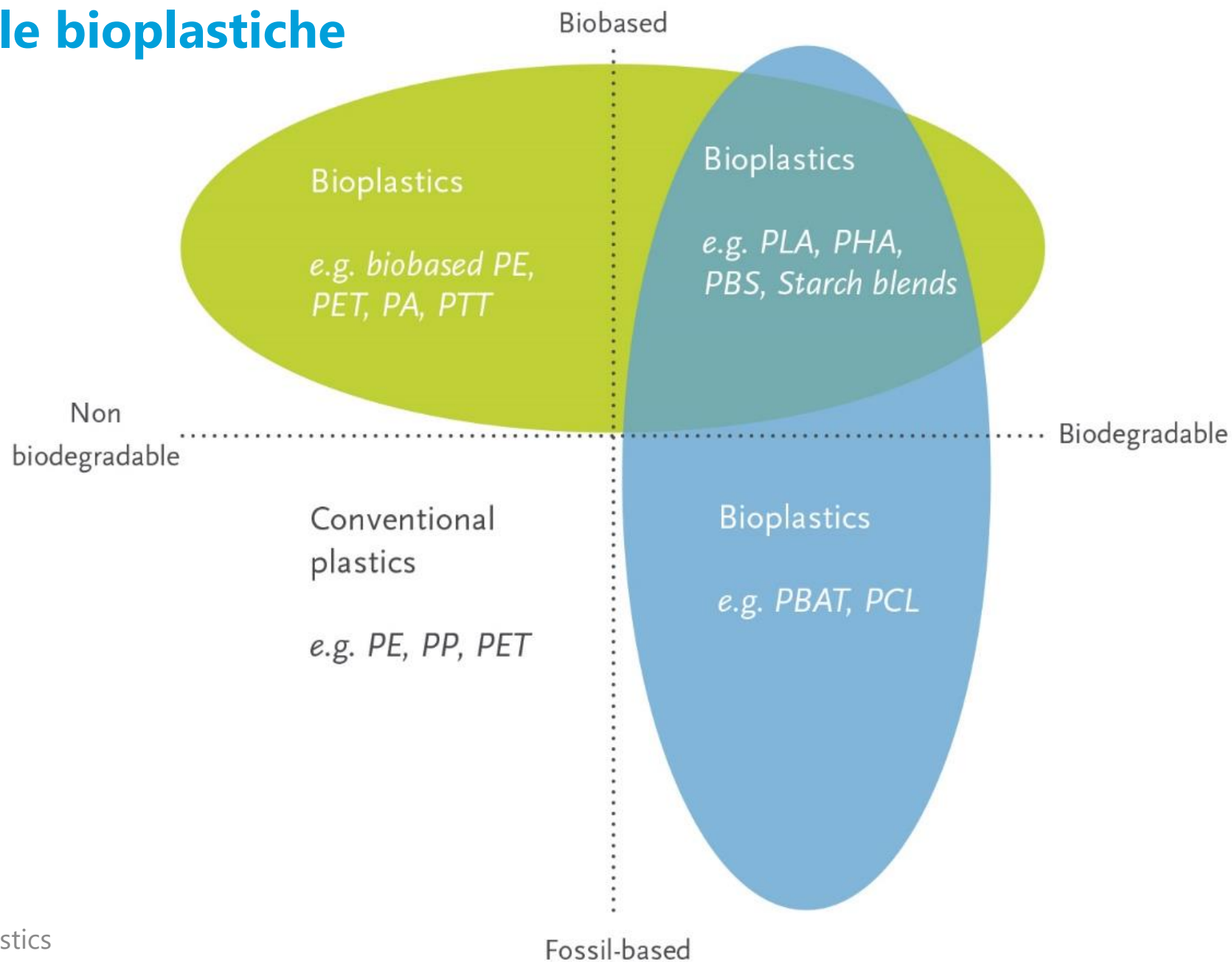




Quale di queste cose è una bioplastica?
(più risposte giuste ammesse)



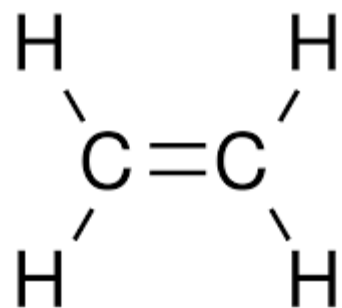
Cosa sono le bioplastiche



Source: European-bioplastics

Esempi di bioplastiche

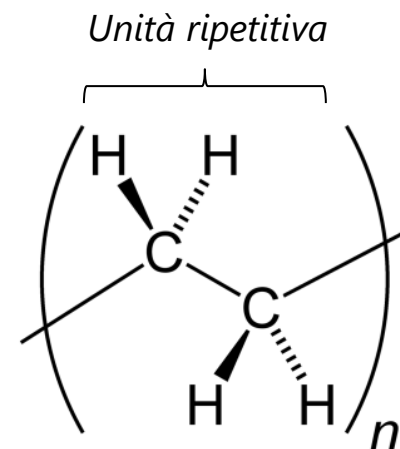
Etilene



polimerizzazione



Polietilene



Esempi di bioplastiche

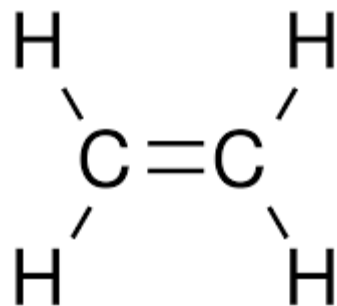
Polietilene "standard"



distillazione



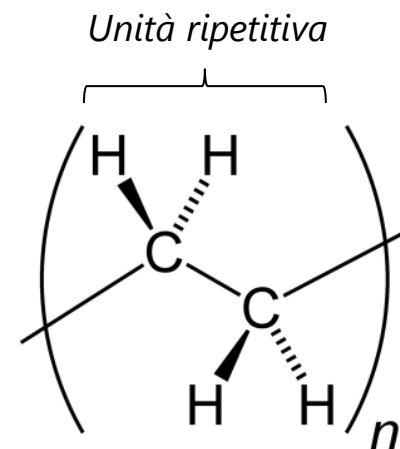
Etilene



polimerizzazione



Polietilene



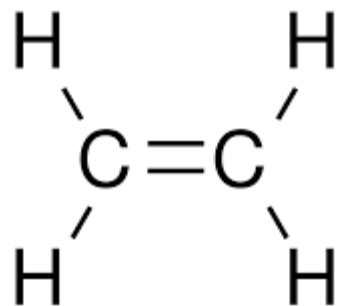
Esempi di bioplastiche

Bio Polietilene



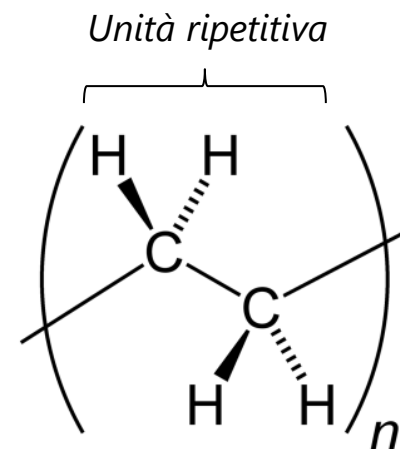
fermentazione
&
distillazione

Etilene



polimerizzazione

Polietilene



Conviene?

Polymer	Biodegradation (industrial)	Biodegradation (ocean)	GWP cradle-to-gate (tonne CO ₂ eq per tonne polymer)	AP cradle-to-gate (kg SO ₂ eq per tonne polymer)	Price (US\$ per kg) ^{5,254}	Refs
Fossil-based and durable						
HDPE	NA	NA	1.8–2.6	6–22	1.4–1.6	111
LDPE	NA	NA	1.9–3.1	27	1.36	111
PP	NA	NA	1.5–3.6	49	1.1	151,225
PS	NA	NA	3.2	NA	0.7–1.5	180
PET	NA	NA	2.4–5	10–18	1.2–1.4	111
PVC	NA	NA	1.5–2.2	3	1.9	180
Fossil-based and degradable						
PBAT	2–3 months	>1 year	NA	NA	4.1	111,167,255
PBS	2–5 months	>1 year	NA	NA	4.5	68,167,256
PVA	1–2 weeks	4 months	NA	NA	2	147
PCL	4–6 weeks	6 weeks	NA	NA	NA	149,150,167
Bio-based and durable						
PEF	9 months	NA	2.1	NA	NA	128,130,257
bioPET	NA	NA	2–5.5	13–75	NA	151
bioPE	NA	NA	0.68	30	1.8–2.4	258
Bio-based and degradable						
bioPBS	>3 months	>1 year	2.2	75	NA	167,169,256
PLA	6–9 weeks	>1.5 years	0.5–2.9	7–21	2–3	111,167,206
PGA	2–3 months	1–2 months	NA	NA	NA	151,152
P3HB	1–4 months	1–6 months	–2.3–4	14–25	3–8	167,225,235
P4HB	4–6 weeks	1–6 months	NA	NA	3–8	151,167,259

Rosenboom, JG., Langer, R. & Traverso, G. Bioplastics for a circular economy. *Nat Rev Mater* **7**, 117–137 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>

Data from: Walker, S. & Rothman, R. Life cycle assessment of bio-based and fossil-based plastic: a review. *J. Clean. Prod.* (2020).

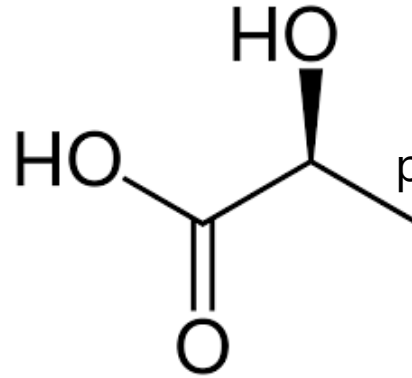
Esempi di bioplastiche

PLA – acido polilattico



fermentazione
&
distillazione

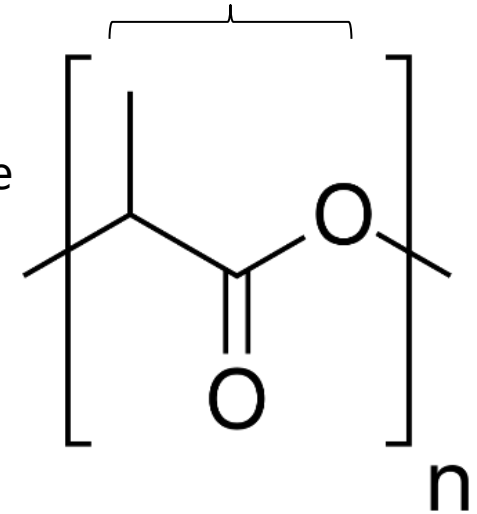
Acido Lattico



polimerizzazione

Acido Polilattico

Unità ripetitiva



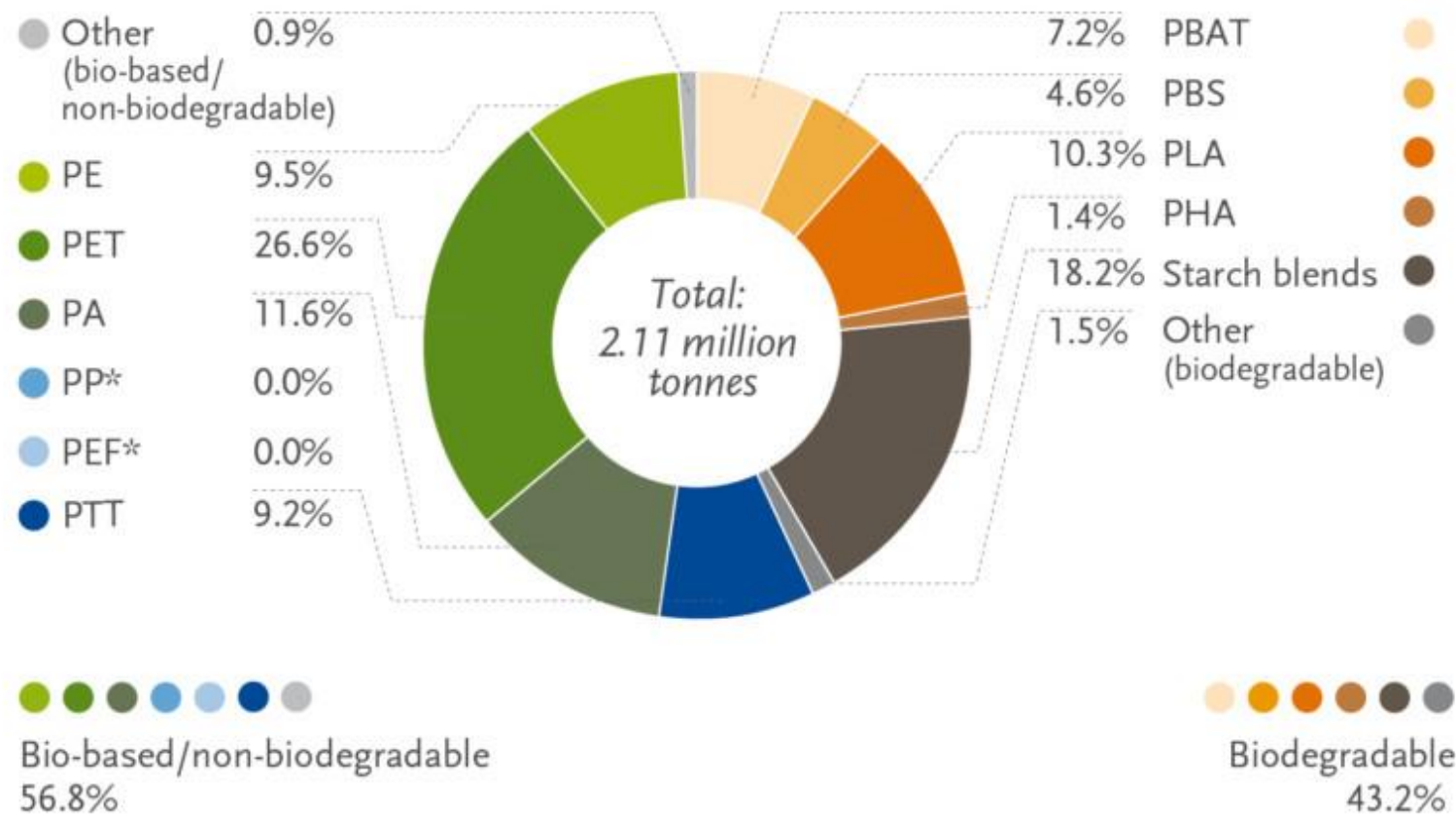
- Buona trasparenza
- Resiste all'acqua, agli olii
- Alta resistenza termica
- Biodegradabile*
- Prodotto da materie prime rinnovabili

* Biodegradabile in siti di compostaggio industriale ad alta temperatura

Conviene?

Polymer	Biodegradation (industrial)	Biodegradation (ocean)	GWP cradle-to-gate (tonne CO ₂ eq per tonne polymer)	AP cradle-to-gate (kg SO ₂ eq per tonne polymer)	Price (US\$ per kg) ^{5,254}	Refs
Fossil-based and durable						
HDPE	NA	NA	1.8–2.6	6–22	1.4–1.6	111
LDPE	NA	NA	1.9–3.1	27	1.36	111
PP	NA	NA	1.5–3.6	49	1.1	151,225
PS	NA	NA	3.2	NA	0.7–1.5	180
PET	NA	NA	2.4–5	10–18	1.2–1.4	111
PVC	NA	NA	1.5–2.2	3	1.9	180
Fossil-based and degradable						
PBAT	2–3 months	>1 year	NA	NA	4.1	111,167,255
PBS	2–5 months	>1 year	NA	NA	4.5	68,167,256
PVA	1–2 weeks	4 months	NA	NA	2	147
PCL	4–6 weeks	6 weeks	NA	NA	NA	149,150,167
Bio-based and durable						
PEF	9 months	NA	2.1	NA	NA	128,130,257
bioPET	NA	NA	2–5.5	13–75	NA	151
bioPE	NA	NA	0.68	30	1.8–2.4	258
Bio-based and degradable						
bioPBS	>3 months	>1 year	2.2	75	NA	167,169,256
PLA	6–9 weeks	>1.5 years	0.5–2.9	7–21	2–3	111,167,206
PGA	2–3 months	1–2 months	NA	NA	NA	151,152
P3HB	1–4 months	1–6 months	–2.3–4	14–25	3–8	167,225,235
P4HB	4–6 weeks	1–6 months	NA	NA	3–8	151,167,259

Global production capacities of bioplastics 2018
(by material type)



*Bio-based PP and PEF are currently in development and predicted to be available at commercial scale in 2023

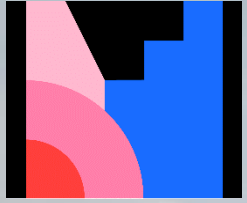
Source: European Bioplastics, nova-Institute (2018)

More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets



Economia Circolare

Un approccio innovativo



Avete mai sentito parlare
di economia circolare?





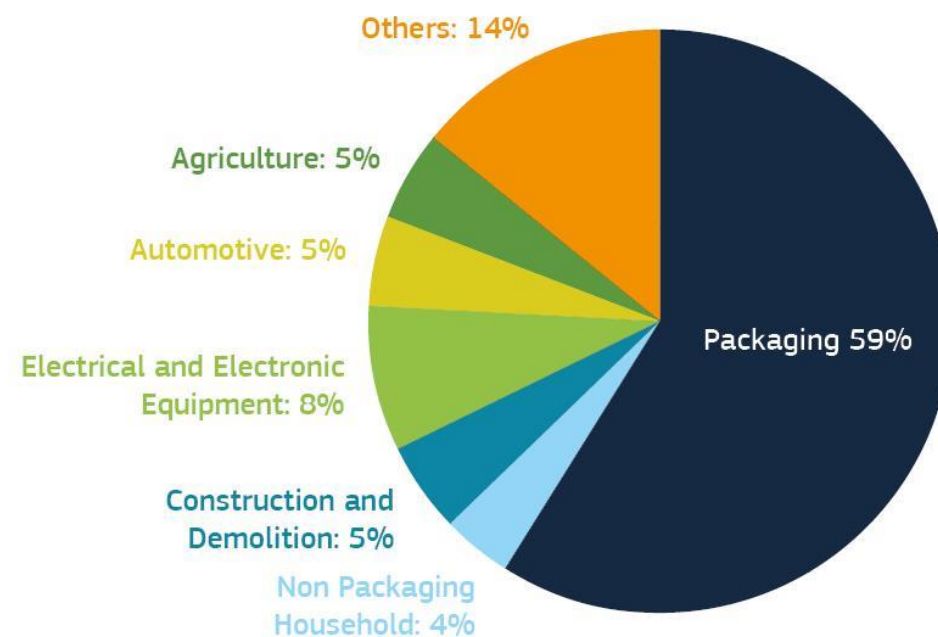
Obiettivi dell'Unione Europe: l'economia circolare approccio a ridurre la plastica

http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm

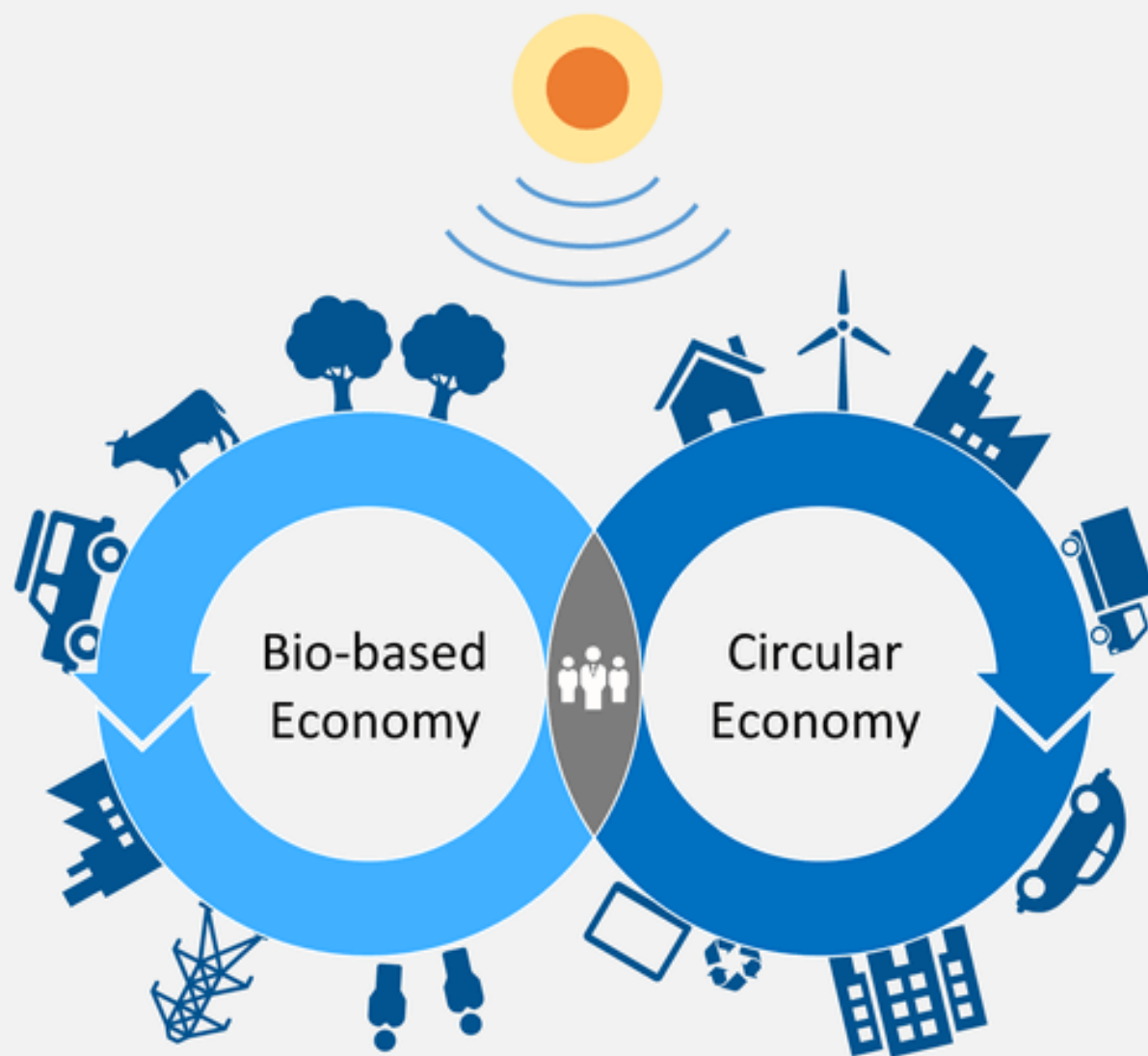


- **Per il 2030 tutta la plastica deve essere riusabile o riciclabile**
 - "Design for recyclability"
 - Supportare la domanda per plastica riciclata
- **Prevenire la dispersione di rifiuto plastico**
 - Stabilire un regolamento omogeneo per la biodegradabilità della plastica
- **Supportare l'innovazione e l'uso di strategie circolari**

EU PLASTIC WASTE GENERATION IN 2015



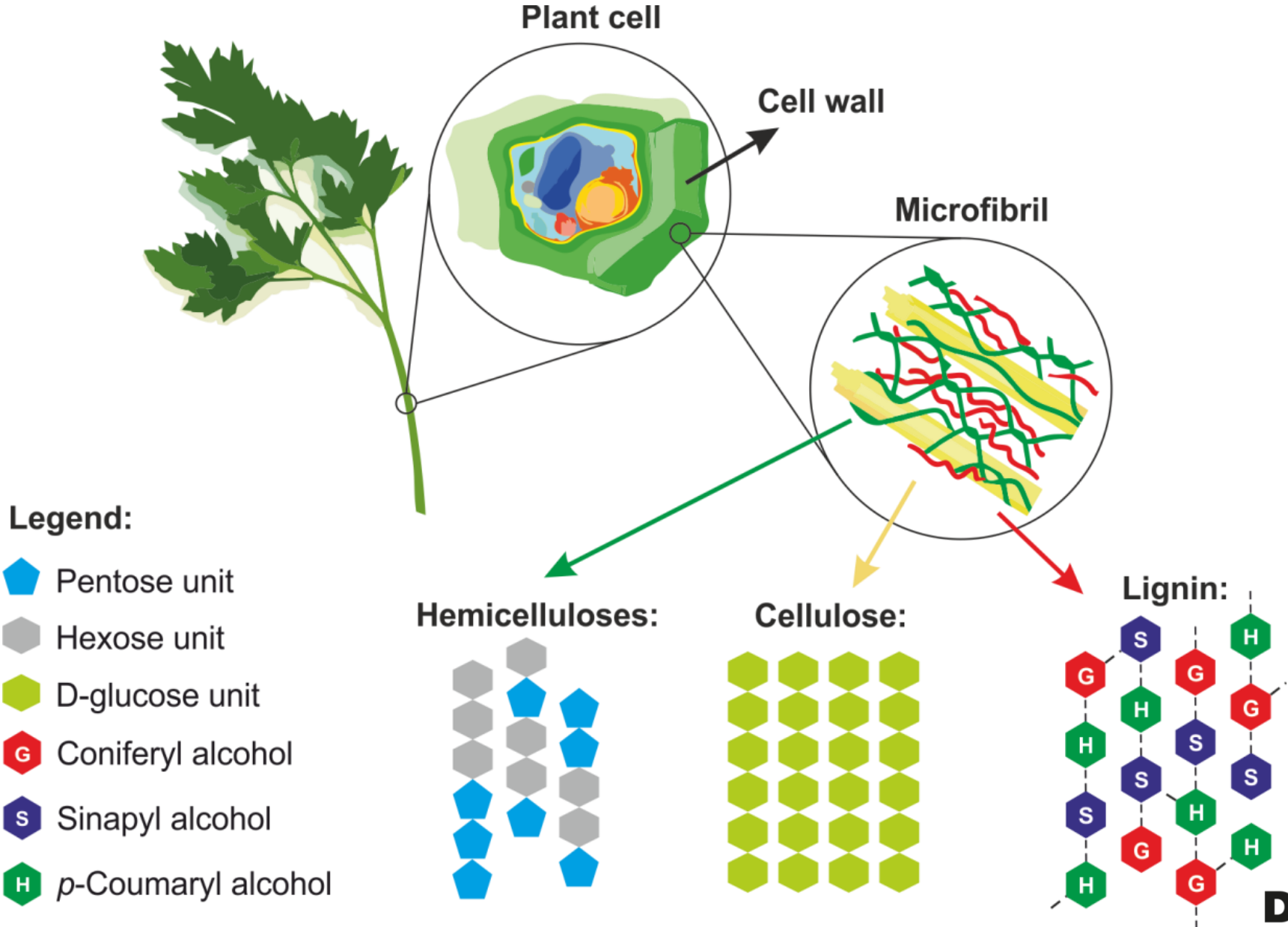
Source: Eunomia (2017)



A close-up photograph of a pile of vegetable waste inside a compost bin. The waste includes banana peels, orange peels, white rose petals, green herbs, and various leafy greens. The bin is made of dark wood, and the background is slightly blurred.

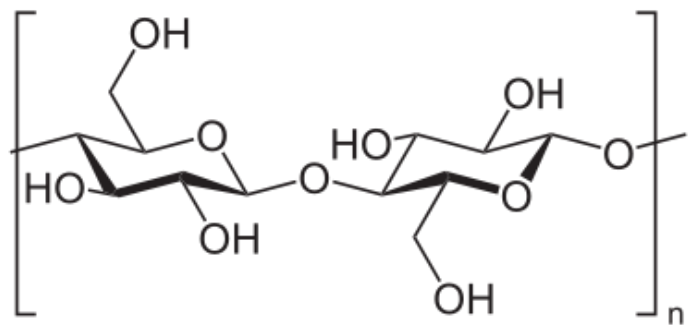
**In 2016 in Europa
55 Millions tons of vegetable waste**

Struttura della parete vegetale

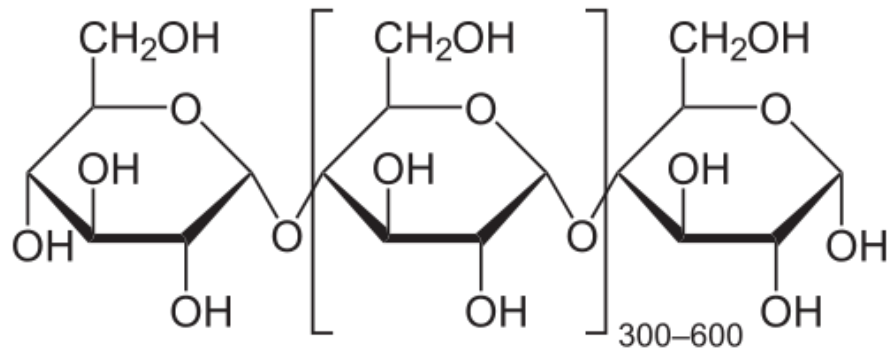


Di che cosa sono fatti i vegetali?

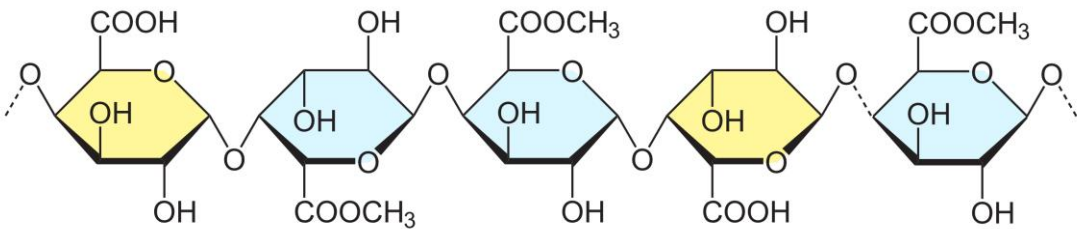
Cellulosa



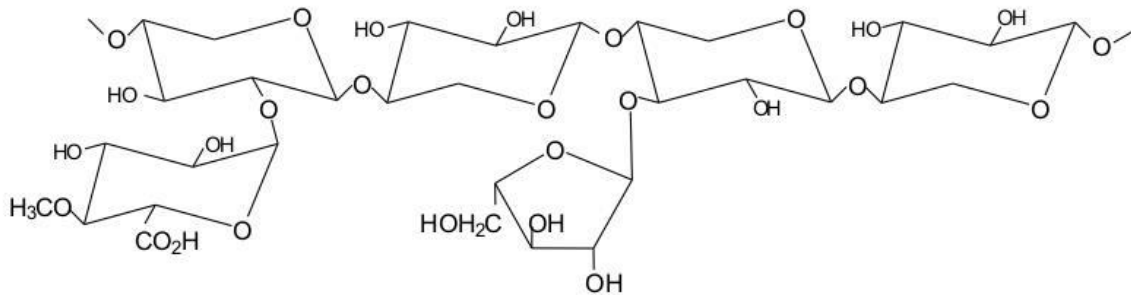
Amido



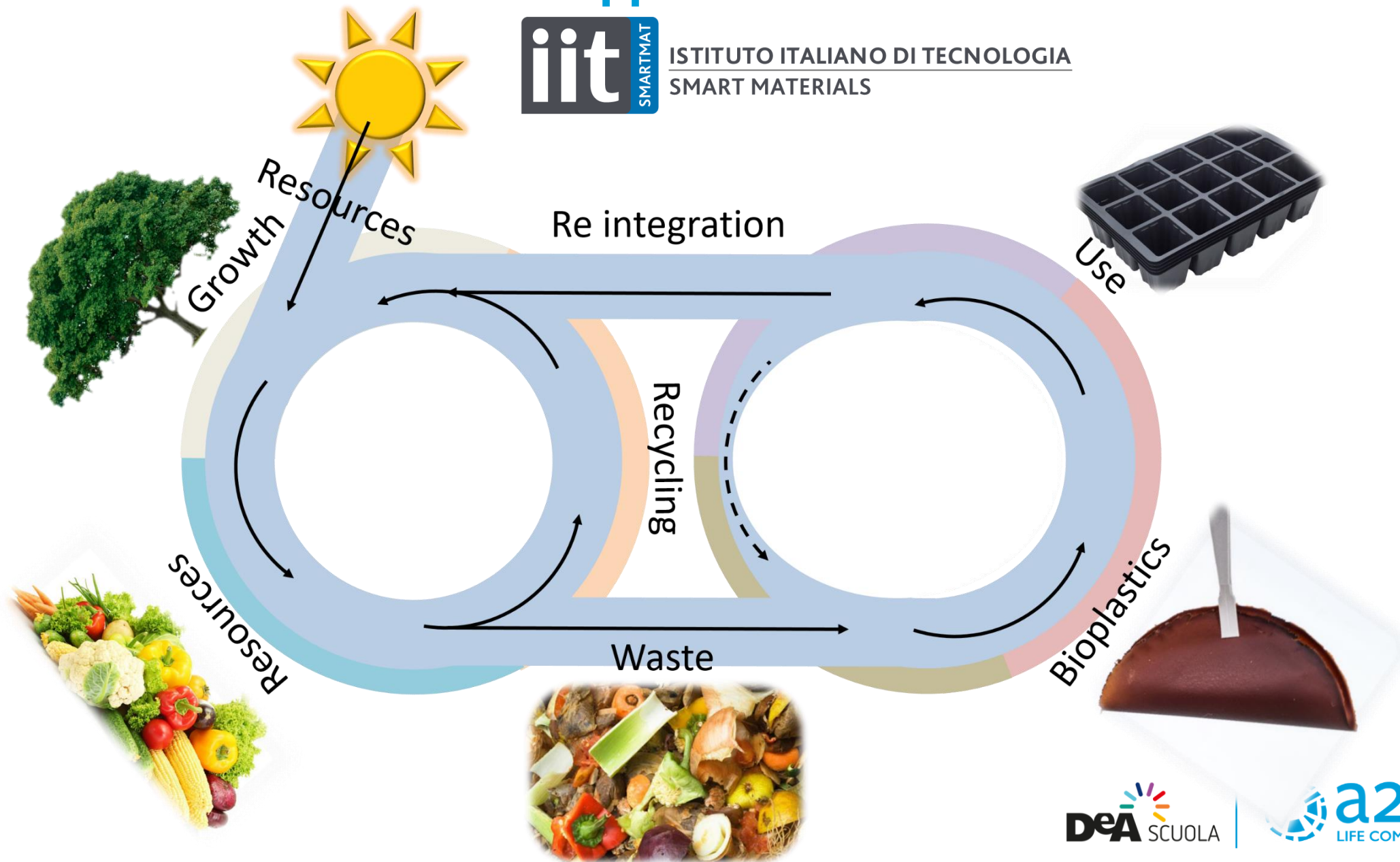
Pectina



Emicellulosa



Che cosa stiamo cercando di sviluppare in laboratorio



ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA
SMART MATERIALS

Come Si Fa Una Strategia Circolare?



Come Si Fa Una Strategia Circolare?



Farmacologo

Biologa

Designer

Fisica

Chimica dei Polimeri

Ecologa

Ingegnere Biomedico

Scienziato dei Materiali

Ingegnere Elettronico



37

Come si fa una Strategia Circolare?

- Fabbricazione di materiali
- Misurazione e ottimizzazione delle performance
- End-of-Life
- Misurazione del ciclo di vita

Compositi estrusi



3D Printing dei composite estrusi



Compositi estrusi

- Fabbricazione di materiali
 - Molto facile
- Misurazione e ottimizzazione delle performance
 - Controllabili in un ampio range
- End-of-Life
 - Simile al PLA
- Misurazione del ciclo di vita
 - Meno impattante

Compositi estrusi: collaborazione con aziende



R&D IIT-Novacart Joint Lab



Bio-elastomeri

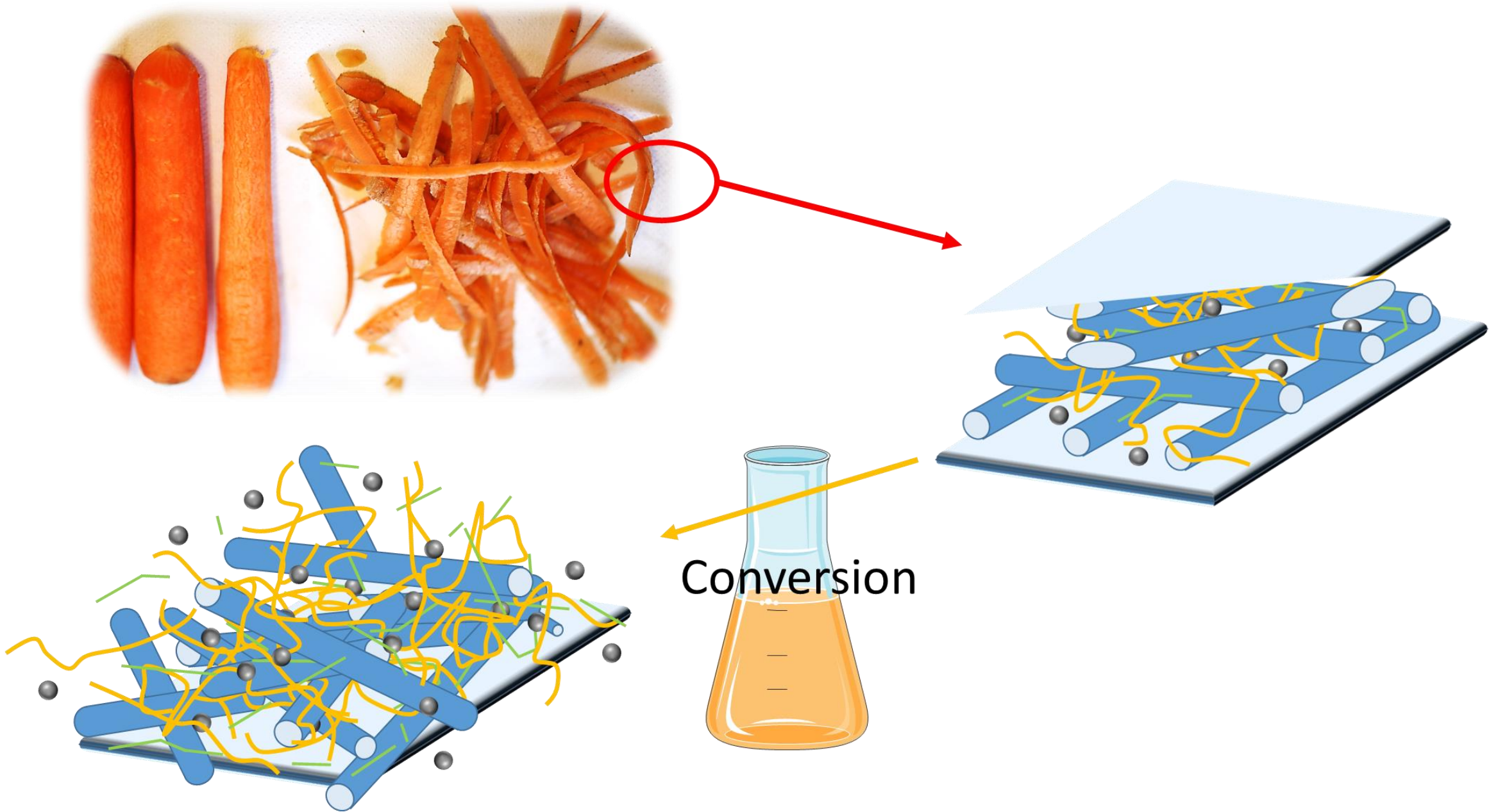


Possono essere modellate e formate senza difetti

- Pelle di pomodoro
- Prezzemolo
- Crusca d'avena
- Scarto di caffè
- Bucce di cacao
- Scarto di curcuma
- Buccia di carote
- Foglie di radicchio
- Gambo di cavolo
- Foglie di carciofo
- Sansa di olive
- Fibre di barbabietola

Risultati

- Fabbricazione di materiali
 - Molto semplice
- Misurazione e ottimizzazione delle performance
 - Simili a quella dei siliconi, poca variabilità
- End-of-Life
 - Non biodegradabili



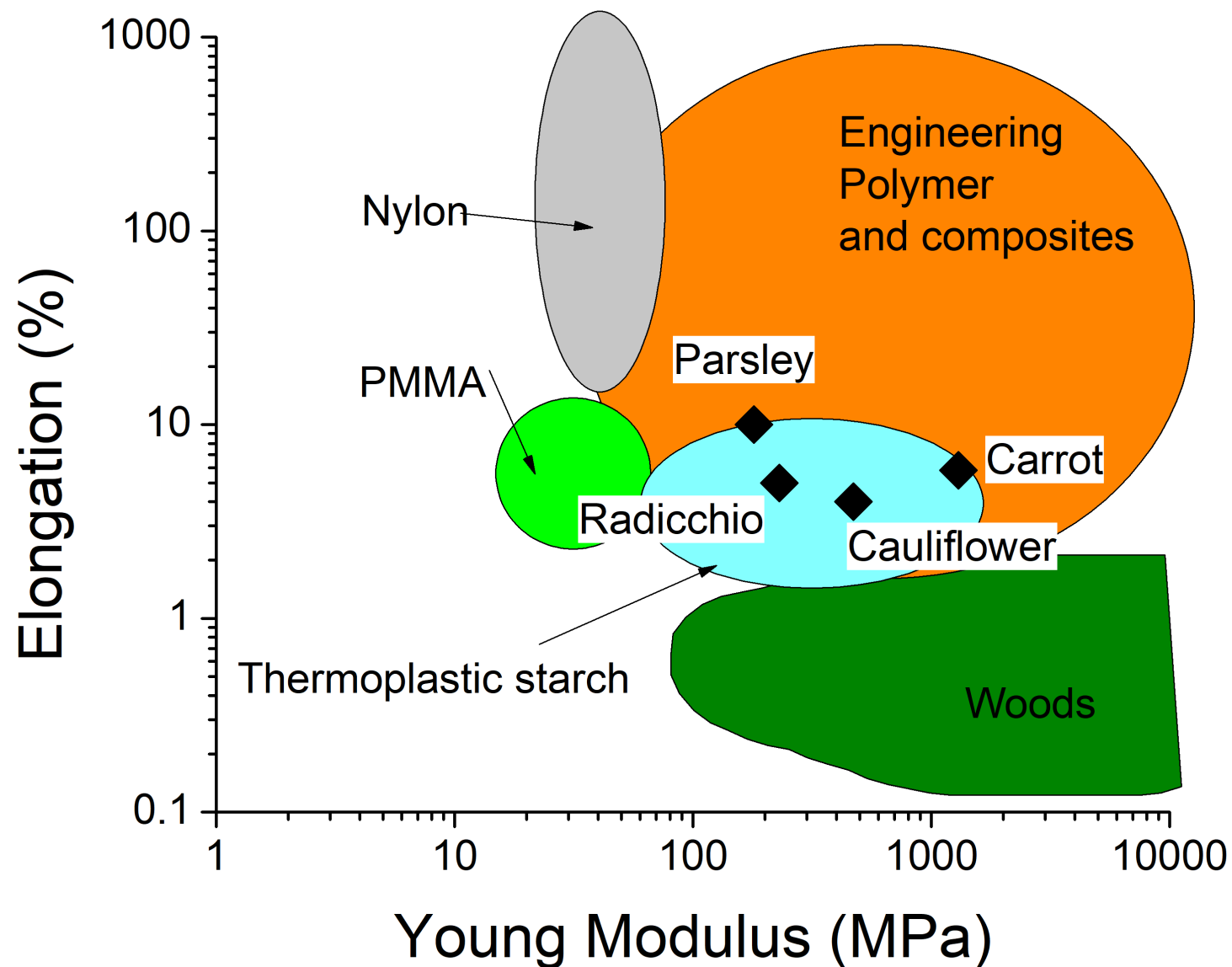
Materiali 100% vegetali



Perotto G. et al. "Bioplastics from vegetable waste via an eco-friendly water-based process" *Green Chemistry* (2018)

Perotto G. et al. "Water-induced plasticization in vegetable-based bioplastic films: A structural and thermo-mechanical study." *Polymer* (2020)

Materiali 100% vegetali



Materiali 100% vegetali



Risultati

- Fabbricazione di materiali
 - Da sviluppare, nuovo approccio
- Misurazione e ottimizzazione delle performance
 - Da migliorare, contestualmente alla fabbricazione
- End-of-Life
 - Migliori performance di biodegradazione
- Misurazione del ciclo di vita
 - Parametri di impatto molto migliorati

Esempio di Sistema circolare: il mercato ortofrutticolo



Bio materiali fatti con scarti di mercato



Domande?

Grazie per l'attenzione



Attività didattiche

Quanto è facile riciclare?

Tipo di attività: raccolta dati ed elaborazione in classe

Obiettivo: riflettere sulla complessità di gestione dei rifiuti prodotti in casa

Attività pratica:

Osservare le etichette poste sugli imballaggi di prodotti che sono presenti in casa

Categorizzare gli imballaggi per materiale: vetro, carta, PE, PS, PP, multimateriale

Categorizzare gli imballaggi per facilità con cui vengono riciclati: ci sono indicazioni su dove smaltire? Ci sono componenti che devono essere separati?

Elaborare idee per ridurre la complessità di materiali e facilitare la gestione da parte degli utenti



Ridurre, Riusare, Riciclare

Tipo di attività: raccolta dati ed elaborazione in classe

Obiettivo: ideare strategie e nuovi modelli di gestione di un articolo di imballaggio

Attività pratica:

- [Discutere con la classe gli imballaggi](#) di alcuni prodotti che sono presenti in casa
- [Fare brainstorming](#) e selezionare un imballaggio o un prodotto che può essere riusato
- [Riusare lo stesso prodotto per alcuni giorni o settimane](#): ci sono controindicazioni? Ci sono nuove procedure che bisogna fare (lavare, sanificare) che potrebbero generare nuovi sprechi? Quanto ha contribuito a ridurre l'accumulo di imballaggi e la qualità dei prodotti contenuti?
- Discutere assieme i risultati



La strategia delle 3 R: ridurre, riusare, riciclare, è la principale strategia per ridurre gli sprechi di materiale e l'inquinamento dovuto agli imballaggi.

Ridurre l'uso di materiali consente di risparmiare risorse e ridurre le emissioni di gas clima alteranti.

Riusare un imballaggio ne riduce l'impatto sull'ambiente perché l'energia che è stata usata per farlo viene sfruttata più volte.

Riciclare evita di disperdere materiale nell'ambiente e di consumare risorse fossili.

Fabbrichiamo una bioplastica

Tipo di attività: attività da laboratorio

Obiettivo: acquisire familiarità con la produzione di biomateriali

Attività pratica:

- Produrre campioni di bioplastica mescolando materiali comuni come amido, acido citrico e glicerina (procedure nella slide successiva)
- Cambiare leggermente i rapporti tra ingredienti per capire come cambiano le proprietà del materiale finale
- Modifichiamo il materiale: usando coloranti per alimenti oppure polveri colorate (anche di vegetali disidratati) possiamo colorare il materiale
- Biodegradazione: cosa succede quando metto il materiale in un vaso di una pianta? Quanto tempo ci mette a degradare?

Discutere assieme i risultati.



Questo esperimento è adattato dall'articolo

Dyeing to Degrade: A Bioplastics Experiment for College and High School Classrooms

di:

Cassandra M. Knutson, Abby P. Hilker, Zachary P. Tolstyka, Constance B. Anderson, Perry A. Wilbon, Robert T. Mathers, Michael T. Wentzel, Angela L. Perkins, and Jane E. Wissinger

Pubblicato su

Journal of Chemical Education nel 2019

Più informazioni, in inglese, si possono trovare nell'articolo originale al link:

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.9b00461>

Fabbrichiamo una bioplastica

Campione 1 - Bioplastica di amido e acido citrico

- 1. Pesare 3,2 g di amido in un becher da 150 mL.
- 2. Pesare 0,5 g di acido citrico su un pezzo di carta da pesare e aggiungerlo al becher.
- 3. Misura 10,0 mL di acqua distillata con un cilindro graduato e aggiungilo al becher.
- 4. Misura 1,0 mL di aceto bianco con un cilindro graduato e aggiungilo al becher.
- 5. Mescolare bene il contenuto del becher con una bacchetta di vetro fino ad avere una miscela omogenea.
- 6. Mettere il becher su una piastra calda impostata su un'impostazione bassa (ad esempio sulla seconda o terza tacca di 10).
- 7. Mescolare frequentemente la miscela fino a quando inizia ad addensarsi (~10-15 minuti). Non surriscaldare o la miscela diventerà grumosa. Se si formano grumi, togliere dal fuoco e mescolare vigorosamente.
- 8. Una volta addensato, rimuovere il becher dalla piastra calda.
- 9. Nel caso si voglia modificare la bioplastica, ad esempio per colorarla, aggiungere adesso 1 goccia di colorante alimentare, o altre polveri colorate e mescolare con una bacchetta di vetro fino ad ottenere una miscela omogenea.
- 10. Etichettate il fondo di un piatto di alluminio come campione 1 e con i vostri nomi.
- 11. Trasferite la miscela nel piatto di alluminio e rimettetela sulla piastra calda fino a quando il materiale è completamente traslucido (~30 minuti).
- 12. Togliete il piatto di alluminio dal calore e conservatelo ad asciugare (48-72 ore) o fino alla seconda parte dell'esperimento

Fabbrichiamo una bioplastica

Campione 2: Bioplastica di amido e glicerolo

- 1. Pesare 1,1-1,5 g di glicerolo direttamente in un becher da 150 mL.
- 2. Pesare 2,0 g di amido su un pezzo di carta da pesare e aggiungerlo al becher.
- 3. Misurare 10,0 mL di acqua deionizzata con un cilindro graduato e aggiungerlo al becher.
- 4. Misurare 1,0 mL di aceto bianco con un cilindro graduato e aggiungerlo al becher.
- 5. Mescolare bene il contenuto del becher con una bacchetta di vetro fino ad avere una miscela omogenea.
- 6. Mettere il becher su una piastra calda impostata su un'impostazione bassa (ad esempio sulla seconda o terza tacca di 10).
- 7. Mescolare frequentemente la miscela fino a quando inizia ad addensarsi (~10-15 minuti). Non surriscaldare o la miscela diventerà grumosa. Se si formano grumi, togliere dal fuoco e mescolare vigorosamente.
- 8. Una volta addensato, rimuovere il becher dalla piastra calda.
- 9. Nel caso si voglia modificare la bioplastica, ad esempio per colorarla, aggiungere adesso 1 goccia di colorante alimentare, o altre polveri colorate e mescolare con una bacchetta di vetro fino ad ottenere una miscela omogenea.
- 10. Etichettate il fondo di un piatto di alluminio come campione 2 e con i vostri nomi.
- 11. Trasferite la miscela nel piatto di alluminio e rimettetela sulla piastra calda fino a quando il polimero non sarà completamente traslucido (~40 minuti).
- 12. Togliete il piatto di alluminio dal fuoco e conservatelo ad asciugare (48-72 ore) o fino alla seconda parte dell'esperimento.

Fabbrichiamo una bioplastica

Campione 3: Polimero di acido citrico e glicerolo

- 1. Pesare 2,0 g di glicerolo direttamente in un becher da 50 mL.
- 2. In un becher separato da 50 mL, pesare 2,0 g di acido citrico direttamente nel becher.
- 3. Misurare 2,0 mL di acqua DI e aggiungere al becher con l'acido citrico e mescolare con una bacchetta di vetro fino a sciogliere completamente.
- 4. Nel caso si voglia modificare la bioplastica, ad esempio per colorarla, aggiungere adesso 1 goccia di colorante alimentare, o altre polveri colorate e mescolare con una bacchetta di vetro fino ad ottenere una miscela omogenea.
- 5. Aggiungete la soluzione di acido citrico al glicerolo e mescolate con una bacchetta di vetro per miscelare completamente.
- 6. Etichettate il fondo di un piatto di alluminio come campione 3 e con i vostri nomi.
- 7. Imbibite un tovagliolo di carta con poco olio da cucina e strofinatelo sul fondo di un piatto di alluminio per ungerlo.
- 8. Versate la soluzione di acido citrico e glicerolo nel piatto di alluminio.
- 9. Mettere il piatto di alluminio in un forno a 100 °C per 2-7 giorni. Il riscaldamento a temperature superiori a 110 °C può provocare la formazione di bolle, che possono influenzare i risultati