



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale/magistrale **INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE**

**ALTERNATIVE SOSTENIBILI ALLA PLASTICA MONOUSO**

**SINGLE USE PLASTIC: SUSTAINABLE SOSTITUTION**

Relatore: Chiar.ma

Prof. **Maria Letizia Ruello**

Tesi di Laurea di:

**Riccardo Luciani**

**A.A. 2019 / 2020**

# INDICE

## Introduzione

5

## 1. La plastica e la riutilizzazione eco-sostenibile

6

### 1.1 I polimeri e le plastiche tradizionali

6

#### 1.1.1 La classificazione dei materiali plastici

6

### 1.2 Situazione attuale delle plastiche a fine vita

10

### 1.3 Il riciclo della plastica

11

## 2. Le possibilità e il riuso delle plastiche

13

<u>2.1 Plastic policies dell'Europa</u>	<b>14</b>
<b>3.Possibilità di sostituzione delle plastiche tradizionali con plastiche biodegradabili e compostabili</b>	<b>18</b>
<u>3.1 Biodegradabilità e compostabilità</u>	<b>18</b>
<u>3.2 Bioplastica</u>	<b>18</b>
<u>3.3 Biopolimeri</u>	<b>21</b>
<u>3.4 Applicazioni dei Polimeri biodegradabili</u>	<b>26</b>
<u>3.4.1 Imballaggio</u>	<b>27</b>
<u>3.4.2 Borse/ sacchetti</u>	<b>27</b>
<u>3.4.3 Agricoltura</u>	<b>28</b>

**4.Possibilità di produzione di plastiche biodegradabili e compostabili da materiale di rifiuto**

**29**

**Bibliografia**

**35**

**Sitografia**

**35**

## INTRODUZIONE

La mia ricerca prende avvio dall'analisi della plastica e della sua "scoperta" come materiale per poi andare ad analizzarne i vari impieghi nell'industria attuale. Oggi la plastica, a causa della sua scarsa ecosostenibilità, rappresenta infatti uno dei maggiori fattori inquinanti in quanto comporta gravi conseguenze per l'intero ecosistema.

Lo scopo del mio studio è quello di illustrare le soluzioni esistenti per ridurre e risolvere il problema dell'inquinamento derivato dalla plastica, mi sono concentrato sull'analisi della fattibilità della produzione di plastiche biodegradabili da scarti vegetali e rifiuti.

Le conseguenze che la plastica apporta all'ambiente sono estremamente dannose e minano gravemente l'ecosistema che è fondamentale per la sopravvivenza del genere umano. Questa importante considerazione ha portato allo sviluppo di innovative tecnologie che mettono al primo posto le tematiche dell'impatto ambientale e della sostenibilità. La definizione di quest'ultima venne introdotta dalla Commissione Mondiale per lo Sviluppo e l'Ambiente costituita dall'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU), con l'espressione "sostenibilità" ci si riferisce «alle condizioni sistematiche pure cui, a livello planetario e regionale, le attività umane non disturbino i cicli naturali su cui si basano più di quanto la resilienza del pianeta lo permetta e allo stesso tempo, non impoveriscano il capitale naturale»<sup>1</sup>.

Realizzare un progetto nell'ottica dello sviluppo sostenibile significa andare oltre le attività progettuali e analizzare le eventuali conseguenze socio-economiche che ne possono derivare.

Malgrado la situazione dell'ambiente sia di grande rilevanza all'interno della vita dell'uomo, il problema in analisi necessita ancora di trovare delle soluzioni efficienti.

Tuttavia, nonostante ad oggi, la situazione ambientale risulti essere molto importante, sono ancora numerose le manovre da sviluppare per affrontare realmente il problema in analisi. Dopo questo excursus ci si addenterà nell'argomento principale di questo studio, la plastica, partendo proprio dalle sue origini, dalla formazione di quella tipologia di

---

<sup>1</sup> Garrone,G., *Bio-plastiche: performance e sostenibilità* pag 5

prodotto che sta minando il nostro ecosistema e creando molti problemi per lo smaltimento.

## **1. La plastica e la riutilizzazione eco-sostenibile**

### 1.1 I polimeri e le plastiche tradizionali

La plastica è un materiale organico non biodegradabile ad elevato peso molecolare che presenta una composizione di polimeri puri o miscelati con additivi.

Nel 1855 il chimico svizzero Georges Audemas riuscì nel suo laboratorio a sintetizzare il rayon, un composto ricavato da cellulosa purificata raccolta principalmente da pasta di legno. Questo fu convertito chimicamente in un composto solubile per poi essere dissolto e forzato, attraverso una filiera, a produrre filamenti che vengono solidificati chimicamente dando origine a fibre di cellulosa quasi pura.

Il primo materiale ad essere riconosciuto come "plastico" fu realizzato dal chimico inglese Alexander Parkes. Lo studioso, nel 1861 brevettò la parkesina, scoperta nel 1856, ricavandola da un processo che contemplava il trattamento a base di vari solventi sulla nitrocellulosa.

Successivamente al lavoro di Parkes, furono scoperti ad opera del chimico italiano Giulio Natta diversi composti classificati come plastiche. Natta, vincitore del premio Nobel per la chimica nel 1963, sintetizzò il polipropilene isotattico.

#### 1.1.1 LA CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI PLASTICI

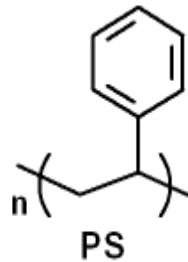
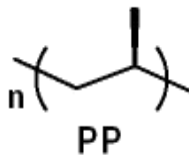
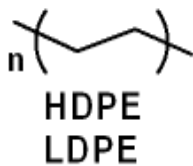
I materiali plastici sono dei polimeri aggregati tra loro e vengono classificati in tre diverse categorie:

- Polimeri termoplastici

*«Vengono indicati con il nome di termoplastici quei polimeri che presentano al riscaldamento forti decrementi di viscosità, e conservano la proprietà di scorrere a temperature elevate per un tempo relativamente lungo. Cessata l'azione del calore,*

per raffreddamento al di sotto del punto di rammollimento, riacquistano lo stato rigido e conservano la forma impartita: la trasformazione è reversibile anche se c'è sempre una certa degradazione che limita il numero di cicli possibili. Nella lavorazione dei polimeri termoplastici è opportuno operare a basse viscosità e ad alte temperature, compatibilmente con la stabilità termica del materiale. Particolare attenzione va osservata nel caso di polimeri parzialmente cristallini con i quali, in caso di raffreddamento della massa al di sotto del punto di fusione delle zone cristalline, si possono verificare condizioni metastabili con conseguenti fenomeni di postcristallizzazione. Tra i polimeri termoplastici più noti ricordiamo il polietilene (PE), il polietilentereftalato (PET), il polipropilene (PP)». (Polimeri termoindurenti e termoplastici. Chimicamo, 5 Luglio 2012)

## TERMOPLASTICI



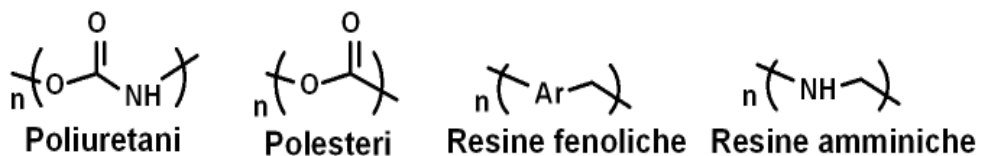
Nylon-6,6  
PMMA

- Polimeri termoindurenti:

«Vengono indicati con il nome di termoindurenti quei polimeri che, in opportune condizioni di temperatura e/o in presenza di particolari sostanze si trasformano in materiali rigidi, insolubili e infusibili. Questa trasformazione si verifica in seguito a reazioni di reticolazione (processo tramite il quale le catene polimeriche vanno incontro a una reazione che crea legami fra diverse catene a livello di gruppi funzionali reattivi) detto curing che avvengono fra le catene polimeriche con formazione di legami forti (covalenti o ionici). Alcuni polimeri termoindurenti vengono reticolati per mezzo del solo calore oppure attraverso combinazioni di

pressione e calore, mentre altri possono essere reticolati attraverso reazioni chimiche a temperatura ambiente (reticolazione a freddo). Tali polimeri sono difficilmente riciclabili in quanto i nuovi legami formati a seguito delle operazioni di reticolazione sono definitivi. Esaminando l'andamento della viscosità con la temperatura, quando viene superato il punto di rammollimento si verifica una iniziale diminuzione della viscosità: si è in presenza di uno stato plastico che consente la lavorazione del materiale. Ad un certo punto, però, subentra la reticolazione e si ha un progressivo aumento della viscosità che conduce all'indurimento del materiale. Ne consegue che i materiali termoindurenti possono essere lavorati con le stesse tecnologie dei materiali termoplastici, purché la lavorazione sia portata a termine in condizioni nelle quali i polimeri conservino la loro plasticità e si abbia cura che la reticolazione avvenga in una fase successiva allorquando è stata impartita al materiale la sua forma definitiva. I polimeri termoindurenti vengono usati come materiali da stampaggio, nel settore degli adesivi, in quello delle vernici e degli smalti e trovano utilizzo come isolanti degli aerei. I due polimeri termoindurenti più noti sono il poliuretano (PU) e il teflon (o politetrafluoroetilene PTFE)». (Polimeri termoindurenti e termoplastici. Chimicamo, 5 Luglio 2012)

## TERMOINDURENTI

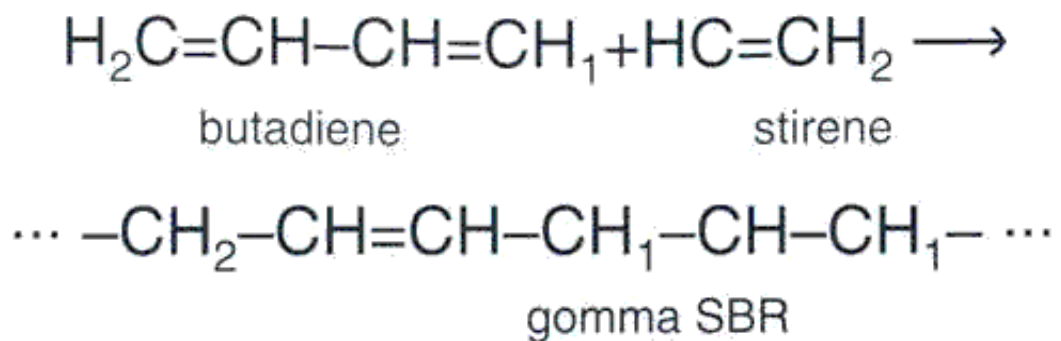


- Polimeri elastomeri:

«Per elastomero s'intende qualsiasi materiale gommoso composto da lunghe molecole simili a catene o polimeri, che sono in grado di recuperare la loro forma originale dopo essere stato allungato in grande misura - da qui il nome elastomero, da "polimero elastico". In condizioni normali le molecole lunghe che compongono un elastomero fan sì che il materiale sia arrotolato irregolarmente. Con l'applicazione della forza, tuttavia, le molecole si raddrizzano nella direzione in cui vengono tirate. Al rilascio, le molecole ritornano spontaneamente alla loro normale



disposizione compatta e casuale. L'elastomero con la più lunga storia di utilizzo è poliisoprene, il componente polimerico della gomma naturale, che è prodotta dal lattice di vari alberi, in genere l'albero di gomma Hevea. La gomma naturale è ancora un importante polimero industriale, ma ora compete con una serie di sintetici, come la stirene-butadiene e la gomma butadiene, che sono derivati da sottoprodotti di petrolio e gas naturale». (Traduzione dell'articolo *Elastomer*, Alan N. Gent)



## 1.2 Situazione attuale delle plastiche a fine vita

Oggigiorno la plastica, in ragione della sua efficienza in termini di utilizzo, trasportabilità ed economicità, fa parte della vita quotidiana di ogni persona. A causa di queste sue caratteristiche vantaggiose, le industrie, pur essendo a conoscenza della gravità delle conseguenze prodotte dall'eccessivo utilizzo di questo materiale e dei suoi impatti sul cambiamento climatico, continuano ad operare producendo plastica vergine per abbattere i costi di produzione. La plastica è, attualmente, uno dei materiali maggiormente impiegati: basti pensare che sono stati rintracciati frammenti inferiori ai 5 millimetri anche nelle acque dolci, nei suoli e nell'aria che respiriamo. «Le stime indicano che nel solo 2019, a livello mondiale, la produzione e l'incenerimento di rifiuti in plastica raggiungerà un livello di emissioni di anidride carbonica pari a quello di 189 centrali elettriche a carbone. Come se

non bastasse, l'industria delle fonti fossili sta iniziando a reindirizzare i propri investimenti nella produzione di plastica che, secondo le stime, aumenterà del 40% nei prossimi dieci anni, arrivando ad essere responsabile del 20% del consumo mondiale di petrolio» (*Prigionieri di un mare di plastica. E il riciclo non basta*, Sara Ficocelli, La Repubblica, 25 ottobre 2019)

Secondo l'ultimo report svolto da Greenpeace *Il Pianeta usa e getta. Le false soluzioni delle multinazionali alla crisi dell'inquinamento da plastica*, il 99% della plastica viene prodotta da fonti fossili come il petrolio, la cui estrazione e raffinazione generano conseguenze che si riversano sul cambiamento climatico e sull'inquinamento atmosferico.

Un'ulteriore problematica è legata al fatto che la plastica prodotta dagli anni cinquanta, non essendo mai stata riciclata, ha reso vano il tentativo di recuperare questo materiale vergine. La richiesta di plastica da parte del mercato, ha portato ad un forte aumento della domanda inducendo ad una maggiore produzione con conseguente abbassamento dei costi di produzione della plastica stessa.

In Europa soltanto il 31% dei rifiuti in plastica raccolti nel 2016 è stato riciclato; mentre per diverse plastiche effettivamente riciclabili, come il polietilene ad alta densità (HDPE) e il polietilene tereftalato (PET), le percentuali di recupero sono molto basse.

É inoltre diffuso il fenomeno del "downcycling" che potremmo tradurre in italiano come "de-ciclaggio" oppure "sotto-ciclaggio" in cui sono riprocessati diversi tipi di plastica dando origine ad un prodotto con caratteristiche meccaniche inferiori. Attraverso tale metodo possono essere realizzati dei prodotti che non richiedono sistemi di lavorazione molto complessi e destinati a campi di applicazioni funzionali e poco estetici, come cassette per la frutta, sacchetti per la raccolta differenziata, film per imballaggi industriali.

### 1.3 Il riciclo della plastica

Come riportato nell'articolo pubblicato nel portale Gestione-Rifiuti: «Tra le ragioni che spingono a fare la raccolta differenziata della plastica si può, senz'altro, annoverare la sua lenta degradabilità. I contenitori in polietilene o in cloruro di polivinile abbandonati nell'ambiente impiegano dai 100 ai 1000 anni per essere degradati, mentre per oggetti

apparentemente più inconsistenti, come le carte telefoniche ed i sacchetti, il tempo necessario è almeno 1000 anni»<sup>2</sup>. Da ciò si evince l'importanza di operare dall'esterno allo smaltimento dei rifiuti in plastica, e ciò si pone come base per lo sviluppo di nuove tecniche di riciclo. A tal proposito, nello stesso articolo si afferma che: «Lo smaltimento della plastica può essere effettuato attraverso il recupero o il riciclo della stessa, dalla quale è possibile non solo ottenere nuovi prodotti, ma anche energia, calore ed elettricità». Esistono vari tipi di riciclaggio della plastica: il riciclaggio meccanico e quello chimico. Il riciclaggio meccanico consiste nella trasformazione della materia in altri composti che potranno poi essere impiegati come elementi iniziali per la creazione di nuovi prodotti; il riciclaggio chimico consiste invece nel «ritorno alla materia prima di base attraverso la trasformazione delle plastiche usate in monomeri di pari qualità di quelli vergini, da utilizzare nuovamente nella produzione», i polimeri delle plastiche vengono scomposti nei rispettivi monomeri, attraverso quella che viene definita "produzione al contrario". Nello stesso articolo, viene illustrato il processo di termovalorizzazione, mediante il quale «la plastica non raccolta o non riciclata può essere destinata al recupero energetico». Attraverso questo processo, infatti, vengono ricavati combustibili alternativi (CDR) in seguito ad un particolare trattamento di selezione e triturazione. Questi CDR vengono poi «utilizzati nei processi industriali (per esempio nei cementifici) e per la produzione di energia termoelettrica». Nello stesso articolo, viene poi illustrato il processo di recupero energetico attraverso termovalorizzatore: questo «prevede di riutilizzare l'energia contenuta nei rifiuti plastici, che le deriva dal petrolio ed è interamente sfruttabile: la plastica infatti ha un potere calorifico paragonabile a quello del carbone. La fase della raccolta differenziata è seguita da quella in cui la plastica è trasportata in balle miste agli impianti di selezione e primo trattamento, dove i diversi prodotti vengono separati manualmente o con un sistema automatico mediante detector. Una volta selezionato, il materiale viene confezionato in balle di prodotto omogeneo e avviato al successivo processo di lavorazione, che consente di ottenere nuove risorse da questi rifiuti».

---

<sup>2</sup><http://gestione-rifiuti.it/smaltimento-plastica>



Riciclo plastica



Separazione plastica

Nella maggior parte dei casi, nella fase di selezione dei rifiuti, si rivela possibile suddividere le diverse tipologie in modo omogeneo, ottenendo come risultato del riciclo la «materia prima seconda», (espressione che mette in evidenza le caratteristiche tecniche e chimiche del materiale riciclato). Nell'articolo viene inoltre precisato che: «Riciclando PET, PVC e PE si riescono ad avere nuovi prodotti, per esempio: da PET, PVC e PE [...] nuovi contenitori, fibre per imbottiture, maglioni e indumenti in pile, moquette, interni per auto o lastre per imballaggi, con il PVC riciclato [...] tubi, scarichi per l'acqua piovana, raccordi e molti altri prodotti del settore edile, con il PE riciclato [...] nuovi contenitori per i detersivi di casa o per uso personale, tappi, pellicole per imballaggi, casalinghi e così via; con la plastica riciclata eterogenea vengono prodotte panchine, recinzioni, arredi per la città, cartelloni stradali»<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> <http://gestione-rifiuti.it/smaltimento-plastica>

## 2. Le possibilità e il riuso delle plastiche

Secondo gli studi svolti da Greenpeace e dalla coalizione internazionale Break Free From Plastic riciclare non basterebbe e, peraltro, non si rivelano essere di supporto le nuove tendenze riguardanti la produzione di plastica biodegradabile a base di biomassa rinnovabile (cellulosa, emicellulose, biomassa lignina, grassi e oli vegetali etc...).

La vera tendenza da abbattere è la produzione di plastica monouso, e in tal senso dovrebbero intervenire le grandi multinazionali:

Come riportato da Sara Ficocelli nell'articolo *Prigionieri di un mare di plastica. E il riciclo non basta*, pubblicato su *La Repubblica* il 25 ottobre 2019: «La coalizione internazionale Break Free From Plastic, di cui fanno parte più di mille e ottocento organizzazioni tra cui appunto Greenpeace, ha catalogato, per il secondo anno consecutivo, contenitori e imballaggi usa e getta raccolti nel corso di 484 attività di pulizia. Dal brand audit, condotto in 51 Paesi e sei continenti, risulta che la maggior parte dei rifiuti appartiene a Coca-Cola, Nestlé e PepsiCo. Dalla catalogazione di quasi mezzo milione (476 mila) di rifiuti in plastica da parte di più di 72 mila volontari, sono stati identificati migliaia di marchi i cui imballaggi in plastica sono principalmente monouso. L'impegno di 37 multinazionali ad aumentare la quantità di plastica riciclata nei loro imballaggi farà crescere la domanda di plastica riciclata di 5-7,5 milioni di tonnellate (aumento del 200-300%) entro il 2030. È tuttavia difficile che tale impegno si concretizzi, considerando gli evidenti limiti del sistema di riciclo, incluso quello chimico che si sta affiancando recentemente al riciclo meccanico».

Una risposta all'eliminazione della produzione di plastica monouso ci perviene dalla California, la quale mira ad ottenere risultati ambiziosi (diminuzione del 75% dei rifiuti in plastica entro il 2030 con conseguente e graduale riduzione della produzione di imballaggi monouso). Questa strategia potrebbe rappresentare un aumento della richiesta di plastica riciclata e riformare l'industria del riciclaggio.

## 2.1 Plastic policies dell'Europa

Per quanto riguarda l'Europa, La Commissione Europea ha adottato la cosiddetta economia circolare, che contiene alcune proposte legislative sui rifiuti per spingere la transizione dell'Europa verso una crescita economica sostenibile. Questo piano d'azione dell'UE per l'economia circolare stabilisce un programma d'azione concreto, con misure che coprono l'intero ciclo di produzione fino al consumo, gestione dei rifiuti e mercato delle materie prime secondarie. Le azioni proposte contribuiranno all'ottenimento di un maggiore riciclaggio e riutilizzo e apporteranno benefici sia per l'ambiente che per l'economia.

Nel Regolamento dell'Unione Europea si afferma che: «Gli elementi chiave della proposta rivista sui rifiuti comprendono: un obiettivo comune dell'UE per il riciclaggio del 65% dei rifiuti urbani entro il 2030, un obiettivo comune dell'UE per il riciclaggio del 75% dei rifiuti di imballaggio entro il 2030, un obiettivo di discarica vincolante per ridurre la discarica al massimo del 10% di rifiuti urbani entro il 2030; un divieto di discarica di rifiuti raccolti separatamente, promozione di strumenti economici per scoraggiare le discariche, definizioni semplificate e migliorate e metodi di calcolo armonizzati per i tassi di riciclaggio in tutta l'UE, misure concrete per promuovere il riutilizzo e stimolare la simbiosi industriale, trasformando il sottoprodotto di un'industria in materia prima di un'altra industria»<sup>4</sup>.

In particolare, a causa dell'aumento dei rifiuti di plastica nelle acque marine ed oceaniche, la Commissione Europea ha proposto nuove direttive per colpire i dieci prodotti di plastica monouso più presenti sulle spiagge e i mari d'Europa, nonché attrezzature che riguardano attività come la pesca che insieme costituiscono il 70% di tutti i rifiuti marini.

Le nuove direttive sono proporzionate e applicate in misure diverse in base alle tipologie di prodotto per rendere il riciclaggio più efficace possibile; laddove non saranno possibili alternative convenienti, i prodotti in plastica monouso saranno banditi dal mercato. Per quanto riguarda i prodotti privi di sanzioni, l'attenzione è focalizzata sulla limitazione del loro uso attraverso una riduzione nazionale dei consumi.

---

<sup>4</sup>[https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28\\_en](https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28_en)

In particolare, a partire dal 2021 saranno introdotti:

- Divieto di utilizzo della plastica per prodotti determinati: laddove siano disponibili alternative e convenienti, i prodotti in plastica monouso saranno banditi dal mercato. Il divieto si applicherà a bastoncini di cotone, posate, piatti, cannuce, agitatori e bastoncini di plastica per palloncini che dovranno invece essere realizzati esclusivamente con materiali più sostenibili. I contenitori per bevande monouso realizzati in plastica possono essere ammessi sul mercato solo se i loro tappi e coperchi rimangono attaccati;
- Obiettivi di riduzione del consumo: gli Stati membri dovranno ridurre l'uso di contenitori per alimenti in plastica e bicchieri per bevande. Possono farlo fissando obiettivi di riduzione nazionali, rendendo disponibili prodotti alternativi nel punto vendita o garantendo che i prodotti di plastica monouso non possano essere forniti gratuitamente;
- Obblighi per i produttori: i produttori contribuiranno a coprire i costi di gestione e di bonifica dei rifiuti, nonché a prevedere misure di sensibilizzazione per contenitori di alimenti, pacchetti e involucri (come patatine e dolci), contenitori e tazze di bevande, prodotti del tabacco con filtri (come mozziconi di sigarette), salviettine umidificate, palloncini e sacchetti di plastica leggeri. L'industria sarà inoltre incentivata a sviluppare alternative meno inquinanti per questi prodotti;
- Obiettivi di raccolta: gli Stati membri saranno tenuti a riscuotere il 90% delle bottiglie di plastica monouso entro il 2025, ad esempio attraverso sistemi di rimborso dei depositi;
- Requisiti di etichettatura: alcuni prodotti richiedono un'etichettatura chiara e standardizzata che indichi come smaltire i rifiuti, l'impatto ambientale negativo del prodotto e la presenza di materie plastiche nello stesso. Questo vale per assorbenti igienici, salviettine umidificate e palloncini;

- Misure di sensibilizzazione: gli Stati membri saranno tenuti ad aumentare la consapevolezza dei consumatori sull'impatto negativo dei rifiuti di materie plastiche monouso e attrezzi da pesca, nonché sui sistemi di riutilizzo disponibili e sulle opzioni di gestione dei rifiuti per tutti questi prodotti.

Per gli attrezzi da pesca, che rappresentano il 27% di tutti i rifiuti da spiaggia, la Commissione intende completare il quadro politico esistente con regimi di responsabilità del produttore per gli attrezzi da pesca contenenti plastica. I produttori di attrezzi da pesca in plastica dovranno coprire i costi della raccolta dei rifiuti dalle strutture portuali di accoglienza e il suo trasporto e trattamento. Copriranno inoltre anche i costi delle misure di sensibilizzazione.

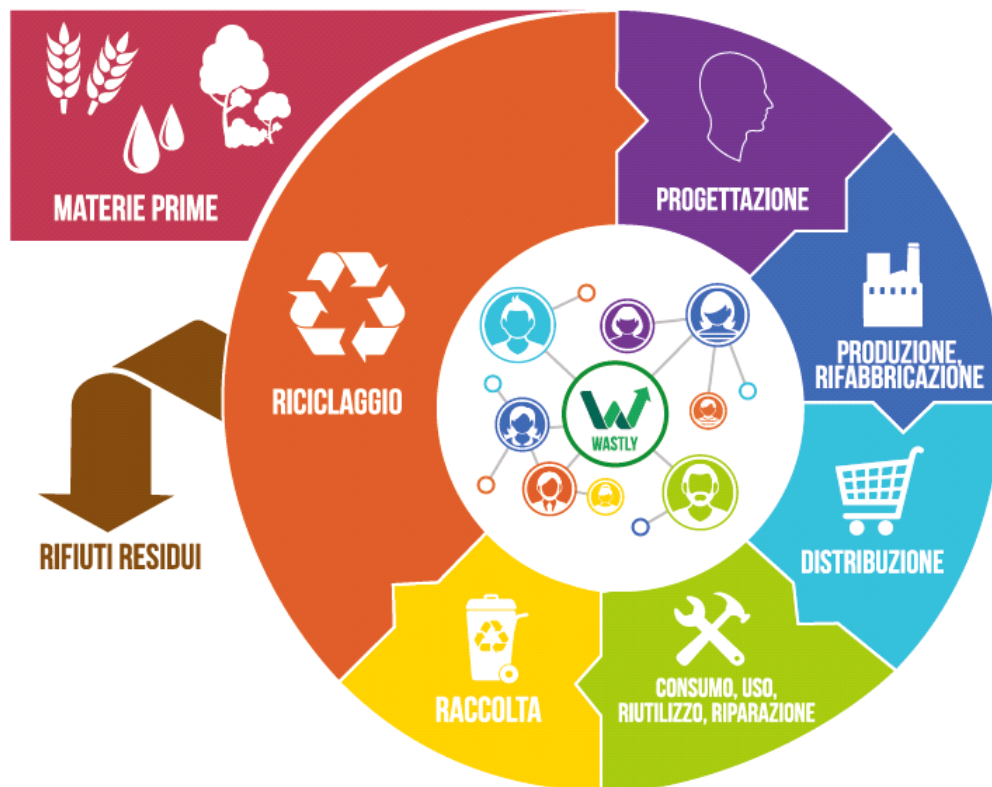
Di fronte alla nuova direttiva che entrerà in vigore l'1 gennaio 2021, l'associazione Assobioplastiche ha esposto presso il Ministero dell'Ambiente e le commissioni parlamentari una richiesta per esentare le bioplastiche compostabili dai divieti imposti dalla direttiva sugli articoli monouso. A loro favore si pone l'Università di Plymouth che ha condotto una indagine sulle bioplastiche effettuando una comparazione tra quattro tipologie diverse di shopper: biodegradabile, compostabile, convenzionale e due oxodegradabili.

«Acquistati in supermercati britannici, dopo averli esposti per tre anni nell'ambiente naturale, come se fossero stati abbandonati: all'aria, nel terreno e in mare. Al termine del periodo, come mostrato dal video qui sotto, alcuni sacchetti erano ancora integri e in grado di trasportare la spesa. I sacchetti sono stati monitorati costantemente e il deterioramento è stato valutato in termini di integrità visibile, resistenza alla trazione, texture superficiale e composizione chimica. Il comportamento, però, è risultato diverso in funzione del materiale utilizzato. Dopo nove mesi all'aria aperta, tutti i sacchetti si sono disintegrati, trasformandosi in frammenti. I sacchetti biodegradabili, oxodegradabili e quelli in plastica tradizionale (polietilene) sono rimasti integri e in grado di trasportare carichi anche dopo tre anni di permanenza in suolo o in mare. I sacchetti per la spesa biodegradabili e compostabili - come quelli obbligatori nel nostro paese - si sono completamente decomposti dopo tre mesi in mare (anche se non è stata studiata l'effettiva biodegradazione), ma erano ancora visibili - pur deteriorati e non più in grado di essere



utilizzati - dopo 27 mesi sotto terra» (Biodegradabilità in ambiente degli shopper, *Polimerica*, 30 aprile 2019).

Da ciò si è desunto che il concetto stesso di biodegradabilità da solo ha poco senso, ed è per questa riflessione che la norma UNI EN 13432 sulla biodegradabilità e compostabilità degli imballaggi impone precise condizioni ambientali, ovvero compostaggio industriale, livelli minimi del 90% di biodegradazione e un tempo massimo di decomposizione di 90 giorni.



### **3. Possibilità di sostituzione delle plastiche tradizionali con plastiche biodegradabili e compostabili**

In questo capitolo ho analizzato i concetti di biodegradabilità e compostabilità, definendo peraltro il concetto di bioplastiche, quali sono i loro utilizzi, la loro effettiva possibilità di sostituire le plastiche esistenti e quali sono i principali polimeri che vengono usati attualmente.

#### 3.1 Biodegradabilità e compostabilità.

«La biodegradabilità è la capacità di un materiale di essere degradato in sostanze più semplici attraverso l'attività enzimatica di microorganismi. Al termine del processo di biodegradazione le sostanze organiche di partenza vengono alterate e trasformate in molecole inorganiche semplici ovvero l'acqua, anidride carbonica e in metano, senza il rilascio di sostanze inquinanti. Questa caratteristica non dipende dalla materia prima ma dalla natura chimica della materia prima, ragion per cui si può avere un prodotto da rinnovabile non biodegradabile e un prodotto da petrolio biodegradabile»<sup>5</sup>.

«Per compostabilità, che riguarda il fine vita di un prodotto, si intende la capacità di un materiale organico di essere riciclato organicamente insieme all'umido trasformandosi in compost mediante il compostaggio (processo di decomposizione biologica della sostanza organica che si verifica in condizioni controllate). Al termine del processo di compostaggio si ottiene un prodotto biologicamente stabile, inerte e inodore. Ricco in humus, in flora microbica attiva e microelementi, il compost è una soluzione contro la desertificazione dei suoli e l'impovertimento di carbonio nonché un prodotto di impiego agronomico in quanto utilizzabile come fertilizzante per florovivaismo e colture praticate in campo»<sup>6</sup>.

### 3.2. Bioplastica

La bioplastica è una plastica ricavata da un materiale organico, senza andare ad utilizzare derivati del petrolio, è del tutto simile ad una plastica sintetica tradizionale sia per la leggerezza che per la resistenza. La principale differenza tra le due è che la biodegradabile può essere riassorbita dagli agenti naturali presenti sulla terra e in atmosfera in tempi rapidi e con minori conseguenze sull'ambiente, in genere, a seconda della sua composizione chimica, può impiegare dai 4-5 anni. L'European Bioplastics ne dà una definizione più esemplificativa, vengono cioè considerate bioplastiche, tutte quelle plastiche derivanti da

---

<sup>5</sup> Rossini,S., *Miglioramento delle proprietà barriera e sviluppo di composti ecostenibili* pag 15

<sup>6</sup> Rossini,S., *Miglioramento delle proprietà barriera e sviluppo di composti ecostenibili* pag 15

materie prime rinnovabili, oppure sono biodegradabili o presentano entrambe le proprietà. I vantaggi maggiori li abbiamo in termini di non inquinamento, poiché il materiale verrà riassorbito e ciò le rende molto più semplici da riciclare. A differenza delle plastiche tradizionali le risorse che vengono usate, sono di tipo rinnovabile, quindi non si avranno problemi per l'eventuale esaurimento delle materie prime e l'uso di queste potrebbe portare un aumento delle redditività agricole poiché sempre meno terre saranno abbandonate, andando così a fermare in parte la continua espansione dei centri abitati. Ad oggi però la bioplastica, presenta principalmente tre handicap.

Il primo è dovuto ai costi di produzione; gli attuali costi tecnologici sono infatti molto più alti rispetto alle plastiche sintetiche, essendo questo un settore nascente, i costi unitari sono fissi.

Il secondo è l'inquinamento dato dal trasporto, visto che le aziende produttrici potrebbero non essere nelle vicinanze e ciò comporta, un aumento dell'inquinamento dato dai mezzi di trasporto usati e un aumento dei costi, poiché il trasporto di biomassa risulta essere molto dispendioso.

Il terzo ed ultimo punto è il rischio di incappare in una corsa agli approvvigionamenti da parte delle imprese che potrebbe portare a una eccessiva ricerca di materie prime per una produzione di massa andando ad attaccare l'ecosistema dell'ambiente, perciò si dovrà al più presto creare una copertura normativa per la tutela da detto rischio.

Tuttavia, secondo i più studi, la plastica biodegradabile potrà andare a sostituire quella sintetica e il suo successo sarà dato da quattro fattori:

- Competitività del costo delle bioplastiche nei confronti di quelle tradizionali. Il successo di un prodotto lanciato sul mercato è determinato dal costo di adozione di un nuovo materiale rispetto alle opzioni già in commercio. L'elevato prezzo rispetto ai petrolchimici termoplastici rimane una delle cause della lenta adozione di imballaggi in bioplastica. Questa sfida è diventata particolarmente evidente nel 2014, quando il prezzo del petrolio greggio è crollato di circa il 55%.
- Disponibilità delle materie prime. Secondo le previsioni l'Asia diventerà il principale centro di produzione di bioplastica nei prossimi anni, grazie anche a progetti di grande portata in Thailandia, India e Cina da cui proverranno, entro il 2020, oltre

tre quarti di questi materiali. L'Europa, pur essendo in prima linea nella ricerca e nello sviluppo di tecniche produttive, non sembra possedere una forte capacità di fabbricazione, forse per mancanza di materia prima da impiegare. Sarà necessario evitare il conflitto, in alcuni casi evidente, tra risorse alimentari e materie prime necessarie alla produzione di bioplastiche. In secondo luogo dovranno essere individuate risorse sufficientemente abbondanti per rifornire le aziende produttrici. In Inghilterra una delle strade percorribili sembra quella che prevede l'utilizzo di lignina (un polimero componente del legno ricavabile da scarti di lavorazione dello stesso) o di rifiuti dell'industria cartaria.

- Prestazioni e qualità superiori rispetto a quelle tradizionali. Nella produzione della plastica tradizionale vengono usati additivi per conferire caratteristiche quasi uniche ai materiali; questa tecnica potrebbe essere utilizzata anche nell'ambito delle bioplastiche. Tuttavia, il mercato degli additivi per i polimeri a base biologica è ancora molto piccolo. I progressi più notevoli si notano nell'ambito del polimero a base biologica (PLA) che si è ormai dimostrato in grado di resistere a temperature che oscillano tra i 100°-140° e che lo rende un sostituto valido ad altre sostanze in più applicazioni. Altro punto per la realizzazione di una buona bioplastica riguarda la necessità di generare un prodotto con caratteristiche costanti: la grande varietà di materie prime non sembra portare all'uniformità chimica. La scelta, la selezione e lo stoccaggio delle stesse devono essere stabiliti con criteri precisi e adeguati alla destinazione di utilizzo finale.
- Grado di diffusione sul mercato. Negli ultimi anni il mercato delle bioplastiche, nonostante i numerosi ostacoli sopra evidenziati, è diventato sempre più competitivo in termini di costi ed è stato supportato sul piano legislativo dall'introduzione di standard e schemi di certificazione. In alcuni Paesi si è arrivati fino al divieto di utilizzo delle plastiche tradizionali per talune applicazioni, come i sacchetti per la spesa usa e getta (Italia in primis).

Molto importanti per la costituzione delle bioplastiche sono i biopolimeri, nei paragrafi seguenti ho evidenziato le principali caratteristiche e mostrerò qualche esempio sia dal punto di vista molecolare che dal punto di vista pratico-applicativo.

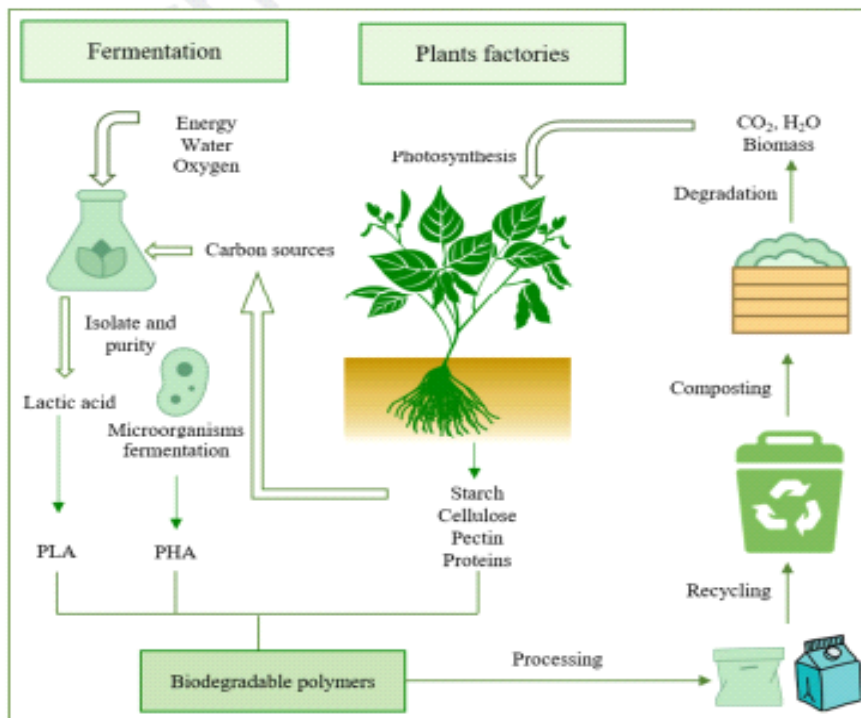
### 3.3 Biopolimeri

Con il continuo aumento di richiesta per una industria più ecosostenibile, l'ingegneria e la chimica hanno iniziato a studiare nuove possibilità, per la costituzione di nuovi materiali, nuovi metodi di produzione, nuovi processi. Il maggiore impegno da parte delle aziende è stata la ricerca di un materiale sostitutivo; si sta cercando di ricavare materiali con migliori caratteristiche meccaniche non derivanti dal petrolio, risorsa che ormai sta andando in esaurimento e che ha dominato il mercato per tutto il ventesimo secolo. La produzione delle materie prime con base rinnovabile è un campo nuovo che sta pian piano aumentando il suo range. Per il 2030 si è stimato che i materiali biobased arriveranno ad essere il 30% del totale.

I biopolimeri sono delle macromolecole polimeriche prodotte da materie prime biologiche, contenenti unità monomeriche legate covalentemente per formare grandi strutture. La degradazione dei biopolimeri può essere dovuta all'ambiente bioattivo ed è indotto dai microrganismi via processi di catalizzazione, ma le catene polimeriche possono anche essere spezzate da processi non enzimatici come l'idrolisi chimica. «I prodotti finali della degradazione dei polimeri tipicamente include la CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, l'acqua, della biomassa e altre sotto-sostanze naturali che possono dare dei benefici all'ambiente circostante»<sup>7</sup>. I polimeri biodegradabili, possono essere generati da risorse naturali come l'amido, la cellulosa, chitosano e proteine derivanti da alberi ed animali; principalmente si utilizzano i primi due di questa lista poiché ne abbiamo in abbondanza. Tramite l'utilizzo dei biopolimeri per l'imballaggio di cibo, il vantaggio non lo ha solo il consumatore, ma anche l'igiene del materiale stesso.

---

<sup>7</sup> Zhong,Y.,Godwin,P.,Jin,Y.,Xiao,H., *Biodegradable and green based antimicrobial packaging materials: A mini review,in advanced industrial and engineering polymer research* pag 3



L'interesse mirato all'innovazione, dichiarato dalle aziende è il seguente: l'ottimizzazione nella produzione di un manufatto e la ricerca di nuovi materiali (es. biopolimeri e nanocompositi). Queste richieste sono in linea con lo sviluppo del settore.

«Negli anni '80, dopo l'introduzione e lo sviluppo dei tecnopolimeri, gli HPP (high performance polymers) sembravano una grande opportunità e molte grandi società avevano investito su produzione e ricerca. Negli anni '90, la crisi economica aveva forzato le aziende a rivedere i loro progetti, per gli alti costi connessi. Oggi gli HPP rappresentano circa lo 0,10-0,14% del totale. Alla fine del 2007, la DSM ha annunciato di avere introdotto sul mercato il primo nuovo polimero del millennio (identificato dalla sigla PA4T, è stato sviluppato per rispondere alle esigenze di miniaturizzazione dei componenti per l'industria elettronica e automotive). L'interesse delle aziende si è spostato verso l'ottimizzazione delle caratteristiche dei polimeri "tradizionali":

Additivazioni, compounding, copolimerizzazione, ecc...

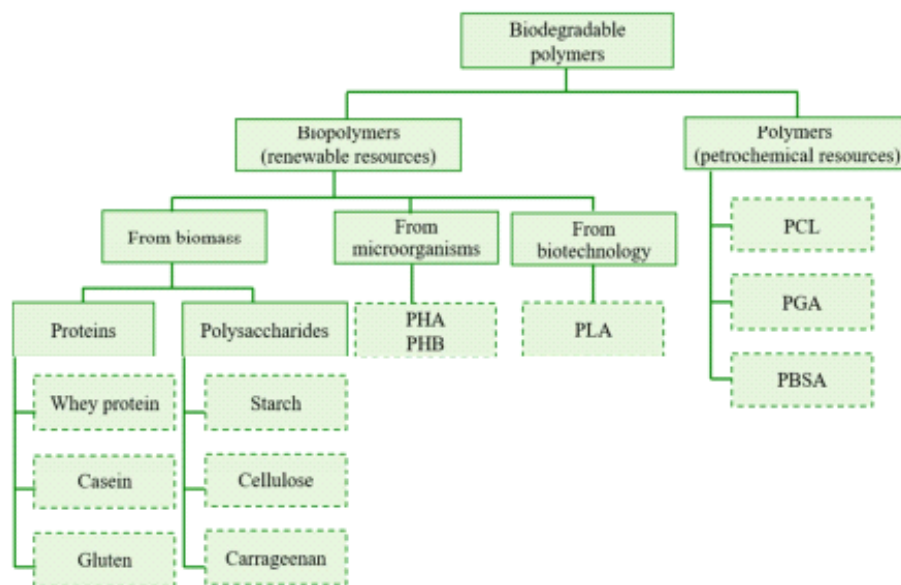
Sulla base delle prestazioni richieste:

- dall'utilizzo finale
- dalle tecnologie di trasformazione

Per rispondere alle esigenze delle nuove applicazioni le maggiori richieste riguardano la scelta dei materiali dal punto di vista delle caratteristiche fisiche, sensoriali e di trasformabilità. L'ottimizzazione della progettazione ha l'obiettivo di:

- tener conto dei processi di trasformazione e delle modifiche strutturali/morfologiche;
- ridurre gli spessori al minimo;
- riciclabilità»<sup>8</sup>

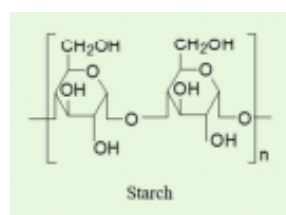
I biopolimeri rappresentano un'area con grande possibilità di sviluppo perché uniscono elevate potenzialità tecniche, eco sostenibilità dal punto di vista delle materie prime e/o del loro recupero a fine vita. È interessante notare che i biopolimeri sono presenti sul mercato da molto tempo e che alcuni risalgono alle origini dello sviluppo di questo settore. Con lo sviluppo delle più economiche tecnologie basate su risorse fossili, i biopolimeri avevano progressivamente perso d'importanza. Negli anni '70, dopo la prima crisi petrolifera, era partita una nuova intensa attività di R&D allo scopo di sviluppare nuove classi. I polimeri biodegradabili possono essere classificati in differenti tipi in base ai processi e alle fonti con cui vengono realizzati. I biopolimeri possono essere ottenuti direttamente dalla biomassa (proteine e polisaccaridi), dai polimeri sintetici, da elementi petrolchimici, o ottenuti con la fermentazione dei microorganismi.



<sup>8</sup> Garrone,G., *Bio-plastiche: performance e sostenibilità* pag 14

Andremo a vedere ora, quali sono le caratteristiche principali di alcuni dei biopolimeri più diffusi sul mercato:

- Amido: Uno dei più importanti e rinnovabili polisaccaridi molto abbondante nelle piante ed è costituito da due polimeri di glucosio, rispettivamente amilosio e amilopectina. L'amilosio è una catena di D-glucosio contenuta da 4 legami, mentre l'amilopectina contiene catene piccole di D-glucosio, tenute insieme da 6 legami. Il pregio dei biopolimeri a base di amido è la disposizione di grandi quantità, corrispettivo di un costo di produzione basso. La grande sfida con questi polimeri è cercare di renderli il più possibile resistenti, poiché risultano essere fragili e idrofili. Per aumentare la flessibilità e incrementare la facilità del processo di realizzazione dell'amido plasticizzato, vari plasticizzanti vengo inseriti per poter far diventare l'amido, termoplastico tramite l'applicazione di calore nel processo di estrusione.



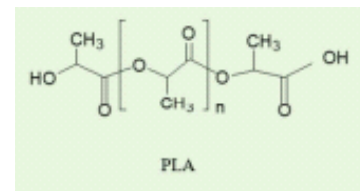
- PLA: «PLA o acido polilattico è prodotto dal destrosio (zucchero) estratto da materiali a base biologica. È la bioplastica, o biopolimero, più popolare e l'unica attualmente prodotta in un impianto di scala mondiale. Natureworks possiede un impianto da 130.000 tonnellate a Blair, in Nebraska, che produce PLA sotto il marchio Ingeo»<sup>9</sup>. Il PLA può essere paragonato soprattutto al PET-A e può essere convertito sulle stesse linee di produzione (stampaggio a soffiatura, stampaggio a iniezione-stiro-soffiaggio ISBM e termoformatura). Sono disponibili anche gradi con indici di fluidità più elevati, che possono essere utilizzati facilmente nelle

---

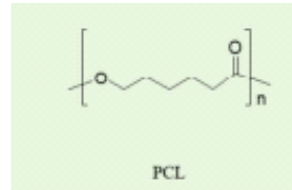
<sup>9</sup> <http://www.kloner3d.com/kloner3d-filamenti-tecnici-pla-acido-polilattico-biopolimero.html>



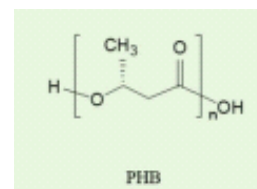
applicazioni di stampaggio a iniezione, nelle quali il PLA può essere un valido sostituto del polistirene (PS). Questo biopolimero è molto adatto anche per l'estrusione di fibre, potendo sostituire validamente il polipropilene (PP). In determinate condizioni il PLA è in grado di biodegradarsi. I prodotti del PLA (acido polilattico) possono essere compostati in impianti industriali in cui possono essere controllati il calore (70°C o più) e l'umidità (minimo 70% UR). Il materiale, essendo igroscopico, deve essere sottoposto ad essiccazione prima di essere convertito, nella maggioranza dei casi. Tutti i gradi sono in possesso del certificato di biocompostabilità ai sensi della norma EN 13432. Questo prodotto è spesso usato nelle miscele o nei compound, per migliorare le proprietà dei materiali. I gradi del PLA standard sono trasparenti e presentano un'elevata brillantezza. Il PLA ha una notevole ripresa di umidità, questo influenza la sua biodegradabilità. Il materiale si decompone rapidamente sopra i 60° di temperatura, in condizioni di umidità elevata. Infatti, in un impianto di compostaggio a 60°, una coppetta di yogurt si biodegrada in 47 giorni. Purtroppo, questo enorme valore aggiunto si perde se il PLA viene riciclato insieme alla plastica tradizionale.



- PLC: è un polimero biodegradabile termoplastico di poliesteri, con una buona resistenza termica, un basso punto di fusione e una bassa viscosità. E' sintetizzato tramite una polimerizzazione del epsilon-caprolattone. Per via della sua bassa resistenza e scarse proprietà meccaniche il PCL ha una scarsa applicazione, quindi per aumentare le sue caratteristiche vengono inseriti altri polimeri in modo tale da incrementarle.



- PHA\PHB: Un altro materiale che viene applicato negli imballaggi, per strumenti medici e nel settore dell'agricoltura è PHA che è un poliestere che è sintetizzato dalla fermentazione microbica. Il PHA è un polimero termoplastico elastomero, non tossico e cristallino con un basso punto di fusione, una buona resistenza ai raggi UV, una buona resistenza fisica e chimica. Per via delle sue scarse proprietà meccaniche e l'incompatibilità con le temperature dei processi tecnici, è un materiale che viene usate in condizioni ristrette. Il PHB invece, grazie all'innalzamento della cristallinità sino al 70% è un materiale con notevoli proprietà meccaniche come il poliestere. Il punto di fusione del PHB è molto simile a quello del PLA, purtroppo però date le sue scarse performance a livello meccanico e la difficoltà dei processi per ottenerlo, abbinate a caratteristiche termiche non spiccate fanno sì che, il materiale non venga poi tanto utilizzato.



### 3.4 Applicazioni dei Polimeri biodegradabili

Le plastiche biodegradabili sono plastiche, che al mondo di oggi hanno una produzione minore dell'1% di tutta la plastica prodotta dalle industrie, tuttavia ci si aspetta che la percentuale tenda a crescere nei prossimi 5 anni. Questo è dovuto alla nuova direzione presa dagli Stati principali per andare contro ad un continuo aumento dell'inquinamento. L'imposizione delle plastiche biodegradabili sulla concorrenza viene limitata da elevati costi e dalle leggi del mercato. Le industrie investono nel settore per sviluppare nuove tecnologie, tuttavia, si sta guardando solo in poche direzioni poiché il 41% delle plastiche biodegradabili sono riconducibili al PLA e al polimero con base di amido, visto che quest'ultimo è una risorsa facilmente rintracciabile poiché presente nelle patate e nel mais. La plastica biodegradabile presenta una varietà di applicazione sia nel campo commerciale che in altri ambiti. Vengono principalmente utilizzate per imballaggi di varie tipologie e per sacchetti compostabili monouso; un altro utilizzo è nell'industria del gas dove sono utilizzate nell'operazione di fratturazione delle rocce per estrarre petroli e gas naturali. Altre applicazioni possono aversi in agricoltura, in medicina e nel settore automobilistico, etc..

#### 3.4.1 L'Imballaggio

La maggiore applicazione per le plastiche biodegradabili, come per quelle sintetiche, è l'imballaggio. Principalmente le plastiche bio vengono utilizzate per l'imballaggio dei cibi, proteggendoli dal punto di vista igienico e conservandone le qualità nutritive. Queste funzioni di protezione sono molto importanti, ed è fondamentale controllare e modificare le capacità meccaniche e le loro proprietà di resistenza dagli agenti esterni che dipendono dalla struttura del biopolimero. È necessario controllare la variazione nel tempo del polimero a contatto con il cibo per verificare come variano le sue caratteristiche. I processi per la produzione di imballaggio con plastiche biodegradabili non hanno bisogno di tecniche speciali, ma dalla sola scelta del polimero iniziale si dovranno fare degli aggiustamenti per quanto riguarda i parametri del processo.



### 3.4.2 Borse/ sacchetti

I sacchetti biodegradabili che vengono usati nei supermercati, sono costituiti da polimeri biodegradabili che tendono a decomporsi molto velocemente, quando entrano a contatto con aria, acqua o i raggi del sole. Esistono principalmente tre tipologie di sacchetti “usa e getta”, i primi erano costituiti da amido, polietilene e metalli pesanti, i secondi sono una combinazione tra l’amido e i biopolimeri come il PLA o il BASF ed infine i terzi, che non sono altro che un agglomerato di polimeri biodegradabili, che iniziano molto velocemente il loro processo di degradazione. L’ultima soluzione sta prendendo sempre più piede, poiché il processo di decomposizione avviene molto velocemente e non si ha alcun rilascio di sostanze inquinanti.

### 3.4.3 Agricoltura

L’utilizzo di film plastici nell’agricoltura ha preso piede nella fine degli anni 90, su scala mondiale, in Europa coinvolge migliaia di ettari. Nell’agricoltura convenzionale i film plastici attualmente usati sono a base di polietilene a bassa densità, policloruro di vinile, polibutiniene o copolimeri di etilene. Il crescente inquinamento dovuto alle plastiche, vista

anche la scarsa riciclabilità dei rifiuti dei prodotti agricoli, ha fatto sì che l'uso dei materiali biodegradabili, non fosse più vista come una semplice sfida, ma come una vera e propria opportunità per migliorare le applicazioni sostenibili.

Alcuni materiali sono già stati sviluppati e sono già sul mercato, anche se non sono ampiamente utilizzati, perché la biodegradabilità può rappresentare un problema se si cambiasse punto di osservazione. L'uso efficiente dei film biodegradabili a base di PVA e  $\epsilon$ -*caprolattone*, che sono facilmente degradati dai microrganismi, mirano al raggiungimento di elevate prestazioni in tutta la loro vita utile. L'agricoltura sostenibile comporta alcune domande, in particolare i film biodegradabili devono soddisfare alcuni requisiti come la resistenza meccanica e devono essere biodegradate del 100% prima della successiva coltivazione.

Una volta analizzati i biopolimeri, si cercherà di andare a trovare altre soluzioni, caratterizzate dalle condizioni di rispetto ambientale per diminuire maggiormente l'inquinamento generato dalla plastica e per poter cercare di andare a ridurre gli sprechi di rifiuto.

#### **4.Possibilità di produzione di plastiche biodegradabili e compostabili da materiale di rifiuto**

La scarsità di risorse in costante aumento dovuta ad un sovrasfruttamento rende necessario lo sviluppo di un'economia globale circolare e, quindi, sostenibile [3].

L'economia circolare si basa su un sistema a circuito chiuso, dove i materiali vengono riciclati indefinitamente mantenendone inalterate le proprietà, o restituiti all'ecosistema senza alcuna ripercussione sull'ambiente.

è necessario, quindi, un accoppiamento tra i settori dei rifiuti e della produzione per garantire uno sviluppo di ecologia industriale.

Negli ultimi anni il concetto di raffineria di rifiuti organici ha ricevuto una particolare attenzione come un'alternativa sostenibile alla raffineria di petrolio, sfruttando i rifiuti organici in quanto risorsa per la produzione di energia rinnovabile e per la fornitura di prodotti di alto valore come fertilizzanti organici, biopesticidi e bioplastiche [3, 5, 7, 8].

Le varie tecnologie che sfruttano la biomassa come materia prima per la produzione di prodotti a base biologica sono denominate bioraffinerie. L'adozione di tale processo porterebbe ad una riduzione delle enormi perdite economiche ed energetiche, per questo alcuni governi, come ad esempio in Francia, stanno implementando politiche per valorizzare la biomassa attraverso il recupero di energia (ad esempio biogas) e di materiali a valore aggiunto (bioplastiche).

Negli ultimi decenni nel campo della ricerca sono stati fatti enormi sforzi per convertire gli scarti alimentari in poliidrossialcanoati (PHA). Per PHA intendiamo un composto generico costituito da hydroxy-butirate e una percentuale compresa tra il 5-20% di hydroxy-valerate. Il PHA ha la caratteristica di diventare biodegradabile a contatto con l'ambiente e ciò va a diminuire il problema dello smaltimento della plastica.

Circa il 30% degli alimenti diventa rifiuto organico, il quale viene generato da tutte le fasi della catena di approvvigionamento alimentare, comprese le fasi di post-produzione, stoccaggio, produzione, commercio all'ingrosso o al dettaglio e, infine, consumo (Ravindranand Jaiswal, 2016).

Gli scarti alimentari contengono quantità sufficienti di fonti di carbonio e sostanze nutritive rappresentando, quindi, un grande potenziale per la produzione di PHA attraverso la fermentazione batterica.

Attualmente un processo di produzione innovativo per le bioplastiche consiste nell'utilizzo di colture miste in eccesso dagli impianti di trattamento delle acque reflue (Lametal., 2017).

Sebbene gli scarti alimentari rappresentino una buona materia prima iniziale per la produzione di bioplastiche, devono comunque essere pretrattati per migliorare o modificare le proprietà fisico-chimiche e biologiche.

Il pretrattamento fisico viene solitamente applicato all'inizio per modificare la dimensione delle particelle o per separare i materiali per l'elaborazione nelle fasi successive attraverso processi di conversione meccanica e termica. Ultrasuoni, microonde, macinazione e metodi

di riscaldamento vengono anche utilizzati per la polverizzazione per aumentare l'area superficiale, il tasso di separazione, la conversione biologica o i substrati fermentabili (inclusi glucosio, proteine, grassi, acidi grassi e amido) (Sasmal et al., 2012 ; Bussemaker e Zhang, 2013; Pagliaccia et al., 2016). In laboratorio, attraverso uno studio del PHA è stato sintetizzato il PHB usando dei semi essiccati in un forno, alla temperatura di 60 gradi centigradi, per ridurre i semi in particelle fine. IL trattamento fisico viene quindi utilizzato per diminuire le dimensioni delle particelle e per separare i materiali.

Il trattamento chimico permette di aumentare l'accessibilità di tali materie agli enzimi idrolitici che verranno successivamente impiegati. In via generale, il processo serve per trasformare l'acido di lignocellulosa in un derivato da dei prodotti che hanno la funzione di andare ad inibire o diminuire l'azione dei batteri durante la fermentazione. Viene utilizzato principalmente un processo di trattamento combinato acido-alcino che prevede di aumentare gli accessi all' area della superficie mentre si crea una formazione di polimerizzazione dei materiali. (Ahnetal., 2016a, 2016b). (Carlsson et al., 2012).

In seguito si ha l'idrolisi, il principale meccanismo di questo processo che serve a degradare i polimeri nei corrispondenti monomeri e/o intermedi. L'idrolisi enzimatica favorisce, infatti, la conversione di strutture polimeriche in prodotti che possono essere trasformati (ad es. Lignocellulosa in carboidrati e grasso animale in acidi grassi) e costituisce un passaggio fondamentale in questo processo. I risultati evidenziano come gli alcalini che hanno subito la sonicazione hanno avuto un incremento del 30% di solubilità nei COD e il 40% di solubilità nelle proteine.

Il passaggio successivo consiste nella fermentazione batterica. Sebbene siano stati identificati 250 tipi di produttori naturali di PHA, solo pochi batteri sono stati adottati per la produzione commerciale di PHA. Tali batteri, tra cui *Alcaligenes latus*, *Bacillus megaterium*, *Cupriavidus necator* e *Pseudomonas oleovorans*, sono stati trovati per convertire diversi tipi di fonti di carboidrati in PHA (Reddy et al., 2003). I batteri marini presentano un enorme potenziale per la produzione di plastiche biodegradabili, anche se nella produzione del PHA vengono usati raramente, nonostante le ultime ricerche hanno dimostrato che il batterio *Halomonas hydrothermalis* combinato con dei biopolimeri, può arrivare a produrre una sostanza contenente circa il 70% di PHB (Yueetal.,2014). I microrganismi che producono PHA, sono quei organismi che hanno interagito con sia con

meccanismi catabolici del carbonio che meccanismi anabolici dello stesso, ciò ha permesso ai ricercatori di scoprire che le metodologie di colture possono essere separate in non alterate e colture miste in base alla diversa strategia. La coltura non alterata si basa sulla produzione di PHA, senza che su di essa avvenga alcuna modificazione e può essere suddivisa in 2 fasi chiave. La prima è associata alla crescita dei nutrienti, mentre la seconda è basata sulla biosintesi e prevede una maggiore quantità di PHA. La coltura mista consiste nel immettere insieme nello stesso terreno di coltura diversi microrganismi, poiché quando la crescita è limitata avvengono 3 passaggi per produrre PHA: il primo che avviene è un processo anaerobico-aerobico e processo batch-fed (Samorì et al.,2015;Hilliou et al.,2016a,2016b). lavori di ricerca chiave, i fanghi attivati ottenuti dal processo di trattamento delle acque reflue sono stati valutati per la potenziale miscela con FW per la produzione di PHA. Sono state studiate diverse modalità di coltura mista, tra cui il reattore batch di sequenze aerobiche (SBR) alimentato con acque reflue del birrificio (Ben et al., 2016), i fanghi attivati per le acque reflue da latte alimentati con siero di formaggio (Bosco e Chiampo, 2010) e i fanghi attivati da uno stagno di stabilizzazione dei rifiuti alimentato con POME (Mohd et al., 2012). Venkateswar Reddy e Venkata Mohan (2012) hanno condotto ricerche sui consorzi raggiunti gestendo un sistema di fanghi attivi (applicato per il trattamento delle acque reflue) per la produzione di PHA attraverso l'alimentazione con FW fermentato. Secondo l'analisi del gene dell'rRNA 16S, i principali gruppi di batteri erano  $\gamma$ -proteobatteri (39%) e batteri non coltivati (16%). Rispetto alla coltura non adulterata, l'uso di fanghi attivi come coltura mista elimina la necessità di condizioni asettiche, con conseguente riduzione dei costi operativi.

La produzione industriale ideale di PHA dipende fortemente dallo sviluppo di ceppi in grado di raggiungere elevate concentrazioni cellulari finali entro 60 ore, tra cui 48 ore di fermentazione e 12 ore di processi di inversione.

I convenzionali sistemi di sintetizzazione per le bioplastiche, prevedono una completa reazione della biomassa, tuttavia le nuove ricerche si basano sull'esatto opposto, cioè quello di andare a dividere la biomassa in monomeri e oligomeri per creare nuovi materiali attraverso l'industria della chimica biotecnologica. Si cerca di andare ad utilizzare i polisaccaridi, poiché si è visto che all'interno di essi vi è un enorme quantitativo di materiale, attraverso il quale si possono andare a ricavare nuovi biopolimeri.



La fattibilità della produzione di PHA utilizzando i rifiuti alimentari come substrato è stata valutata in modo approfondito, comprese le informazioni relative alla capacità massima di accumulo di PHA, alla resa di stoccaggio e al tasso di produzione. Saccaridi (ad es. Fruttosio, glucosio, maltosio, lattosio e xilosio arabi-naso), insieme a n-alcani (ad es. Esano, ottano e dodecano), acidi n-alcanoici (ad es. Acido acetico, acido propionico, acido butirrico, acido valerico, acido laurico e acido oleico), n-alcoli (ad es. metanolo, etanolo, ottanolo e glicerolo), gas (ad es. metano e anidride carbonica) e acido (ad es. acido grasso e acido succinico) sono considerati le principali fonti di carbonio per la biosintesi del PHA (Santhanam e Sasidharan, 2010; Poli et al., 2011). La maggior parte del carbonio applicato nella produzione commerciale di PHA è relativamente costoso, come i carboidrati non alterati (ad es., Glucosio e saccarosio), alcani e acidi grassi. I nutrienti non adulterati (ad es. Aminoacidi e fosfato) sono insostenibili, il che risulta impraticabile nella maggior parte dei meccanismi biotecnologici sviluppati. La realizzazione economica dei processi biotecnologici dipende dall'esistenza di nutrienti a prezzi accessibili che vengono utilizzati come fonti di carbonio, azoto e / o fosfato per i microbi (Liang e Qi, 2014).

Frutta e verdura possono essere utilizzate come substrati di carbonio nel processo di fermentazione per produrre PHA. Alcuni prodotti a base di frutta (ad es. Succo di agrumi) vengono prodotti mediante estrazione al 50% di frutta fresca, con i residui che successivamente rimangono come rifiuti. Questi rifiuti contengono elevate quantità di zuccheri ma basse quantità di proteine. I rifiuti di agrumi sono usati per produrre enzimi (in particolare pectinasi) di acido citrico, acido succinico, fibra alimentare, oligosaccaridi prebiotici e antiossidanti naturali, che possono migliorare la redditività (Matsumoto e Taguchi, 2013; Mamma e Christakopoulos, 2014). Allo stesso modo, la fermentazione diretta dei residui di patate, in combinazione con la fecola di patate, in acido lattico è stata condotta in sistemi settici (Smerilli et al., 2015). Preethi et al. (2012) hanno impiegato semi di Jambul idrolizzati come unica fonte di carbonio nel mezzo di produzione e l'accumulo di PHA in *R. eutropha* e SPY-1 ha raggiunto rispettivamente il 41,7 e il 42,2%. Follonier et al. (2014) hanno esaminato nove tipi di frutti di sansa, tra cui albicocche, ciliegie e uva, come substrati chiave del carbonio.

Per concludere verrà riportato come esempio il caso studio della banana, analizzato nel 2012:

«Nel 2012, le proporzioni respinte e sprecate del totale delle coltivazioni di banane erano rispettivamente del 26,46 e del 6,67% (Quinaya e Alzate, 2014). Questi prodotti agro-alimentari rifiutati sono ugualmente efficaci per produrre biocarburanti, zuccheri e PHB. È stato teoricamente dimostrato che le quantità di glucosio, etanolo e PHB prodotte per tonnellata di banana erano rispettivamente 316, 238 e 31,5 kg (Naranjo et al., 2014; Quinaya e Alzate, 2014). Inoltre, le bucce di banana sono anche importanti riserve di mangime per la produzione di prodotti diversi. In genere, le bucce di banana contengono il 40% di amido che può essere trasformato in zuccheri dopo la maturazione. Una tonnellata di bucce di banana può essere utilizzata per generare rispettivamente 57, 2, 25 e 5 kg di glucosio, acido acetico e metano (Quinaya e Alzate, 2014). L'analisi dei costi e dei margini complessivi è stata stimata per la produzione di PHB, glucosio ed etanolo dalle banane in tre diversi scenari (Naranjo et al., 2014). Nel primo scenario, PHB era un prodotto unico, mentre le bucce di banana venivano trattate come scenario di residui. L'amido idrolizzato preparato con polpa di banana è stato usato per la preparazione di PHB. In un secondo scenario, glucosio, etanolo e PHB sono stati prodotti in una bioraffineria. Nell'ultimo scenario, è stata proposta l'integrazione di massa ed energia dei processi. Il costo stimato per PHB, glucosio ed etanolo negli scenari 1/2/3 era 2,7 / 2,3 / 1,6, - / 0,9 / 0,7 e - / 1,3 / 0,6 USD kg<sup>-1</sup>, rispettivamente. Nell'analisi dei costi, i costi del lavoro colombiani di 2,14 h<sup>-1</sup> USD e 4,29 h<sup>-1</sup> USD sono stati utilizzati, rispettivamente, per operatori e supervisori (Posada et al., 2012). Inoltre, i prezzi di elettricità, acqua e tensione di vapore utilizzati sono stati rispettivamente di 0,03044 USD / kWh, 1,252 USD / m<sup>3</sup> e 8,18 USD / ton. Inoltre, i corrispondenti margini economici del 22/43/106%, - / 0 / 22,2% e - / 18,2 / 45,5% sono stati dimostrati confrontando i prezzi di mercato dei prodotti studiati. Si può concludere che lo scenario 3 ha mostrato l'integrazione di massa ed energia nella bioraffineria. La produzione di PHB da banane residue può ridurre il fabbisogno energetico del 30,6% e il fabbisogno idrico del 35% (Naranjo et al., 2014).»<sup>10</sup>

Nella produzione di materiali plastici, l'interconnessione dei processi biotecnologici con la produzione di materiali bioplastici è una strategia chiave finalizzata a ridurre il consumo di

---

<sup>10</sup> Tsang,Y.F.,Kumar,V.,Samadar,P.,Yang,Y.,Lee,J.,OK,Y.S.,Song,H.,Kim,K.,Kwon,E.,Jeon,Y.J., *production of bioplastic through food waste valorization* pag 640

rifiuti, la contaminazione dell'acqua, le emissioni di gas e l'incremento del potenziale spreco di energia. Pertanto, il potenziale degli scarti alimentari come materia prima per la produzione di bioplastiche rappresenta una dimostrazione di come poter affrontare importanti problemi ambientali e raggiungere un sistema economico più sostenibile e circolare.

#### **BIBLIOGRAFIA**

Zhong,Y.,Godwin,P.,Jin,Y.,Xiao,H., *Biodegradable and green based antimicrobial packaging materials: A mini review,in advanced industrial and engineering polymer research*

Mulhaupt,R., *Green polymer chemistry and bio-based plastic: dreams and reality, in macromolecular journal*

Chinaglia,S.,Tosin,M.,Degli Innocenti,F., *Biodegradation rate of biodegradable plastic at molecular level, in polimer degradation and stability*

Mekonen,T.,Mussone,P.,Khalil,H.,Bresseler,D., *Progress in biobased plastic and plasticizing modifications,in Journal of Materials chemistry A*

Tsang,Y.F.,Kumar,V.,Samadar,P.,Yang,Y.,Lee,J.,OK,Y.S.,Song,H.,Kim,K.,Kwon,E.,Jeon,Y.J.,  
*production of bioplastic through food waste valorization*

Veja,B.E.,Romeo,D.,Thomsen,M., *Biowaste valorisation in a futur circular bioeconomy,in scienzedirect*

Russo,I.,Confente,I.,Scarpi,D.,Hazen,B.T., *From trash to treasure: The impact of consumer perception of bio-waste products in closed-loop supply chains, in journal of cleaner production*

Rossini,S., *Miglioramento delle proprietà barriera e sviluppo di composti ecostenibili*

Garrone,G., *Bio-plastiche: performance e sostenibilità*

## SITOGRAFIA

[http://www.ansa.it/canale\\_ambiente/notizie/istituzioni/2019/05/21/dal-2021-banditi-piatti-posate-e-cannucce-di-plastica\\_1062169a-7d26-4dba-8304-0e31c3af5055.html](http://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/istituzioni/2019/05/21/dal-2021-banditi-piatti-posate-e-cannucce-di-plastica_1062169a-7d26-4dba-8304-0e31c3af5055.html)

<http://www.eniscuola.net/2019/05/27/dal-2021-vietate-le-stoviglie-monouso-plastica/>

<http://www.greenreport.it/news/rifiuti-e-bonifiche/divieto-della-plastica-monouso-entro-il-2021-ok-dal-parlamento-europeo/>

[https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28\\_en](https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28_en)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018PC0340&from=IT>

[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic\\_sustainability.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic_sustainability.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<https://www.ambientesicurezza.it/plastica-e-ambiente-ue/>

[https://www.corriere.it/cronache/19\\_maggio\\_21/plastica-monouso-stop-ue-2021-009837fe-7bc0-11e9-8adb-39180fdb68e7.shtml](https://www.corriere.it/cronache/19_maggio_21/plastica-monouso-stop-ue-2021-009837fe-7bc0-11e9-8adb-39180fdb68e7.shtml)

<https://www.europarl.europa.eu/news/it/press-room/20190321IPR321111/il-pe-conferma-il-divieto-d-uso-della-plastica-usa-e-getta-entro-il-2021>

<https://www.legambiente.it/direttiva-europea-sulla-plastica-monouso/>

[https://www.repubblica.it/ambiente/2019/05/21/news/via\\_libera\\_definitivo\\_della\\_ue\\_stop\\_dal\\_2021\\_a\\_oggetti\\_di\\_plastica\\_monouso\\_banditi\\_anche\\_piatti\\_e\\_posate\\_banditi-226831639/?refresh\\_ce](https://www.repubblica.it/ambiente/2019/05/21/news/via_libera_definitivo_della_ue_stop_dal_2021_a_oggetti_di_plastica_monouso_banditi_anche_piatti_e_posate_banditi-226831639/?refresh_ce)

[https://www.researchgate.net/profile/Loris\\_Pietrelli/publication/299437838\\_Plastiche\\_sostenibili\\_un\\_contributo\\_al\\_Green\\_Paper\\_on\\_plastic\\_waste\\_dell'Unione\\_Europea/links/56f6fb8108ae38d710a1c0d8.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Loris_Pietrelli/publication/299437838_Plastiche_sostenibili_un_contributo_al_Green_Paper_on_plastic_waste_dell'Unione_Europea/links/56f6fb8108ae38d710a1c0d8.pdf)

<https://www.theguardian.com/us-news/2019/sep/13/california-plastics-legislation-single-use>

<https://www.weforum.org/agenda/2019/11/five-ways-to-reduce-single-use-plastic-in-the-middle-east/>

<https://www.bionotizie.com/green-life/uso-riuso-e-riciclo-della-plastica-la-guida-completa/>

[https://www.ilsole24ore.com/art/plastica-ecco-documento-ue-riciclo-e-riutilizzo-AEg2qYjD?refresh\\_ce=1](https://www.ilsole24ore.com/art/plastica-ecco-documento-ue-riciclo-e-riutilizzo-AEg2qYjD?refresh_ce=1)

<http://www.pupilvoicewales.org.uk/the-importance-of-recycling-and-reusing-plastics/>

<https://www.centerforecotechnology.org/plastic-pollution/>

<https://www.bbcgoodfood.com/howto/guide/reduce-reuse-recycle-plastic-packaging>

<https://www.plasticfreejuly.org/get-involved/what-you-can-do/reduce-reuse-recycle/>

<https://www.plasticmakeitpossible.com/plastics-at-home/the-ultimate-guide-to-recycling-reusing-and-repurposing-plastic-items/>

<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/plasticLCA.html>

<https://www.plasticseurope.org/it/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill/recycling-and-energy-recovery>

<https://www.plasticseurope.org/it/resources/market-data>

[https://www.repubblica.it/dossier/ambiente/rivoluzione-plastica/2019/10/25/news/dove\\_finiscono\\_i\\_rifiuti-239472730/](https://www.repubblica.it/dossier/ambiente/rivoluzione-plastica/2019/10/25/news/dove_finiscono_i_rifiuti-239472730/)

[http://assets.wwfit.panda.org/downloads/fermiamo\\_inquinamentoplastica\\_giu2019.pdf](http://assets.wwfit.panda.org/downloads/fermiamo_inquinamentoplastica_giu2019.pdf)

<https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2019/09/report-throwing-away-the-future-false-solutions-plastic-pollution-2019.pdf>

<https://www.ilfattoquotidiano.it/2019/10/01/plastica-greenpeace-la-biodegradabile-e-la-compostabile-non-risolvono-lemergenza-ecco-tutte-le-false-soluzioni-delle-multinazionali/5488260/>

[https://www.researchgate.net/profile/Paolo\\_Broglio/publication/216394771\\_Observations\\_regarding\\_biodegradability\\_definition\\_and\\_certification\\_related\\_to\\_the\\_compostability\\_of\\_plastic\\_packaging\\_materials\\_and\\_plastic\\_artefacts/links/560a932b08ae840a08d5ad7b/Observations-regarding-biodegradability-definition-and-certification-related-to-the-compostability-of-plastic-packaging-materials-and-plastic-artefacts.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paolo_Broglio/publication/216394771_Observations_regarding_biodegradability_definition_and_certification_related_to_the_compostability_of_plastic_packaging_materials_and_plastic_artefacts/links/560a932b08ae840a08d5ad7b/Observations-regarding-biodegradability-definition-and-certification-related-to-the-compostability-of-plastic-packaging-materials-and-plastic-artefacts.pdf)

[https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2012\\_6\\_80\\_ca.pdf](https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2012_6_80_ca.pdf)

[https://www.researchgate.net/profile/Loris\\_Pietrelli/publication/268149924\\_Verso\\_una\\_plastica\\_sostenibile\\_riflessioni\\_e\\_proposte/links/58c6582745851538eb8ca36d/Verso-una-plastica-sostenibile-riflessioni-e-proposte.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Loris_Pietrelli/publication/268149924_Verso_una_plastica_sostenibile_riflessioni_e_proposte/links/58c6582745851538eb8ca36d/Verso-una-plastica-sostenibile-riflessioni-e-proposte.pdf)

<http://www.aisdesign.org/aisd/dalla-celluloide-alla-plastica-bio-150-anni-di-sperimentazioni-materiche-lette-attraverso-una-azienda-italiana>

<https://bioplasticsnews.com/bioplastics/>

<https://bioplasticsnews.com/2019/04/13/what-is-the-difference-between-biodegradable-compostable-and-oxo-degradable/>

<https://bioplasticsnews.com/2019/04/13/what-is-the-difference-between-biodegradable-compostable-and-oxo-degradable/>

<https://bioplasticsnews.com/biodegradable-plastics/>

[https://www.bpf.co.uk/sustainable\\_manufacturing/recycling/Reuse\\_and\\_Applications\\_for\\_Mixed\\_Plastic\\_Waste.aspx](https://www.bpf.co.uk/sustainable_manufacturing/recycling/Reuse_and_Applications_for_Mixed_Plastic_Waste.aspx)

<https://www.theguardian.com/environment/2019/oct/13/war-on-plastic-waste-faces-setback-as-cost-of-recycled-material-soars>

<https://www.norcalcompactors.net/processes-stages-benefits-plastic-recycling/>

<https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>

[https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/allegati/coop/SF\\_Riciclo\\_PlasticheMiste.pdf](https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/allegati/coop/SF_Riciclo_PlasticheMiste.pdf)

[https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2016\\_2\\_54\\_ca.pdf](https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2016_2_54_ca.pdf)

<http://www.assobioplastiche.org/biocomrin.html>

<http://www.assobioplastiche.org/assets/documenti/ricerche/La%20filiera%20dei%20polimeri%20compostabili%20-%20Dati%202018%20-%20Roma%205%20giu%202019.pdf>

<http://www.assobioplastiche.org/economia.html>

<https://www.polimerica.it/articolo.asp?id=21739>

<https://www.polimerica.it/articolo.asp?id=21732>

<https://feder.bio/federbio-assobioplastiche-siglano-unintesa-limpiego-bioteli-agricoltura-biologica/>

<https://www.polimerica.it/articolo.asp?id=21950>

<http://www.earthday.it/Ciclo-dei-rifiuti/Bioplastiche-in-5-anni-boom-del-settore-ma-34.000-tonnellate-di-shopper-illegali-frenano-la-crescita>

[scitechconnect.elsevier.com/.../uploads/2016/10/Commercial-applications-of-bioplastics.pdf](https://scitechconnect.elsevier.com/.../uploads/2016/10/Commercial-applications-of-bioplastics.pdf)

<http://www.kloner3d.com/kloner3d-filamenti-tecnici-pla-acido-polilattico-biopolimero.html>

<https://www.ecoage.it/bioplastica.htm>