

Un futuro di bioplastica

di Michele Bertucci
e Annalisa Moneta

Quante volte ci capita, nel corso di una giornata, di avere a che fare con la plastica? Bottiglie, sacchetti, carte e tessere varie, imballaggi, giocattoli, stoviglie usa e getta, penne e pennarelli sono solo alcuni esempi della sua utilità e adattabilità, ma sono forse le applicazioni in cui il suo uso è meno scontato - come sedie, rivestimenti, protesi, abbigliamento, edilizia - a farci riflettere sul passato e immaginare come potesse essere la vita un centinaio di anni fa senza un materiale così prezioso. Fino ad oggi la plastica, tipicamente prodotta dal petrolio, ha posto notevoli problemi di smaltimento, ma ora sono disponibili diversi sostituti biodegradabili prodotti da materie prime rinnovabili, con struttura e funzione analoga, che saranno oggetto della nostra trattazione.



Indispensabile, ma non ecologica

La plastica ha permeato le nostre vite. Oggi è un materiale indispensabile nella quotidianità di ognuno di noi, ma, pur avendo numerosi pregi, presenta un difetto inaccettabile nel mondo moderno. Se da un lato possiamo annoverare l'economicità, la leggerezza, la resistenza, l'adattabilità e l'attrattiva dei suoi molti colori sgargianti, dall'altro dobbiamo considerare la difficoltà di smaltimento degli oggetti con essa prodotti una volta esaurito il loro utilizzo.



Bracciali prodotti interamente in bioplastica.
[Immagine: TIE-UPS™]

In pratica, tutti i tipi di plastica prodotti da derivati del petrolio non sono biodegradabili e presentano, quindi, un significativo impatto ambientale, specie se rapportato alle vertiginose cifre del consumo e della produzione annuale. Per di più, il loro corretto smaltimento richiede lunghissimi tempi di stoccaggio. D'altra parte, l'incenerimento necessita di strutture costose e comporta numerosi problemi per il controllo delle emissioni che contengono diossina a causa del cloro in esse spesso contenuto (un classico esempio è quello del PVC, il polivinil cloruro).

Viene naturale chiedersi se nel mondo d'oggi l'uso della plastica possa risultare sostenibile. Il suo ruolo socio-economico è, infatti, una delle questioni fondamentali con cui economisti, politici, scienziati, tecnologi ed ecologi si stanno confrontando. Si tratta ormai innegabilmente di un materiale necessario, il cui vasto impiego deve accompagnarsi ad un impatto ambientale accettabile sia per la nostra generazione che per quelle future. La soluzione di questo problema è tutt'altro che semplice.

Uno shopper ecologico, un sacchetto della spesa realizzato in plastica biodegradabile e compostabile.

Infatti, ci troviamo a dover fare i conti con la pesante eredità di un passato in cui - in nome dello sviluppo, del benessere e, soprattutto, degli interessi della lobby dei grandi produttori - si è fatto un utilizzo indiscriminato della plastica, senza curarsi del suo impatto sull'ambiente. Ecco un altro caso in cui la chimica si è fatta una pessima reputazione del tutto ingiustificata: non è mai la scienza a essere "cattiva", bensì chi la usa.

Tuttavia, in tempi recenti la ricerca e la tecnologia hanno messo a disposizione nuovi strumenti per trovare una soluzione almeno parziale alla questione, grazie allo sfruttamento delle bioplastiche che sono ormai uscite dal laboratorio per entrare, spesso in sordina, nella nostra vita quotidiana. C'è un solo caso di cui siamo ormai tutti a conoscenza: è quello delle borse per la spesa che dal 2012 devono essere obbligatoriamente realizzate in bioplastica. Se da un lato la resistenza meccanica e le prestazioni in generale sono inferiori e l'aspetto esteriore è decisamente meno piacevole, dall'altro l'impatto ambientale è sensibilmente minore e il loro uso contribuisce ad uno sviluppo sostenibile.



Una definizione controversa

La definizione esatta di plastica è a tutt'oggi controversa. Il termine ci suggerisce che si tratta di un materiale con la proprietà fisica di potersi plasmare a piacimento - come l'argilla o la creta - e di mantenere permanentemente la forma, una volta sottoposto ad un particolare trattamento.

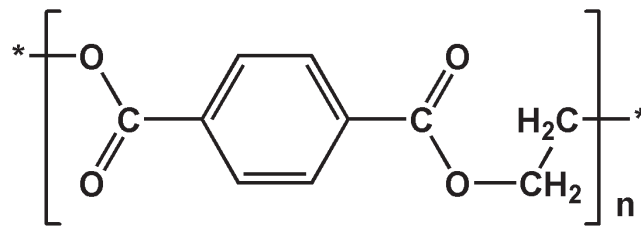
Una descrizione più precisa ci viene offerta dalla chimica. Il processo alla base della formazione della plastica è la polimerizzazione, tramite la quale singole molecole, dette monomeri, si uniscono per formare un'unica macromolecola: il polimero, appunto. Così che, quando parliamo di polietilen tereftalato (PET), polivinil cloruro (PVC), polipropilene (PP) e polistirene (PS; impropriamente detto anche polistirolo), non ci stiamo semplicemente riferendo alla nomenclatura che descrive la struttura chimica di particolari polimeri, ma stiamo classificando lo stesso materiale plastico di

realizzati a partire da sostanze esistenti in natura - come la cellulosa ottenuta dal trattamento della cellulosa - che in quello dei *polimeri sintetici* fabbricati con molecole ottenute in laboratorio, tra i quali troviamo il polipropilene che valse a Giulio Natta il premio Nobel per la chimica nel 1963. Caratteristica comune a entrambi i tipi è che la loro sintesi coinvolge quasi sempre l'uso di derivati del petrolio anche se in quantità e con modalità diverse.

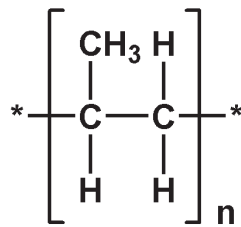
Non meno incerta è la corretta definizione di bioplastica. A titolo di esempio riportiamo due diverse definizioni derivate da fonti autorevoli:

- “una bioplastica è un materiale plastico biodegradabile o derivato da materie prime rinnovabili, secondo la normativa EN1342” (European Bioplastic Association);
- “una bioplastica è un materiale a struttura polimerica derivato da sorgenti naturali” (Mcgraw-Hill Science & Technology Encyclopedia/Oxford Dictionary of Biochemistry).

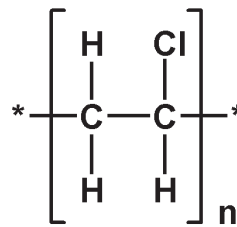
I monomeri delle catene polimeriche del polietilen tereftalato (PET), polipropilene (PP), polivinil cloruro (PVC) e polistirene (PS).



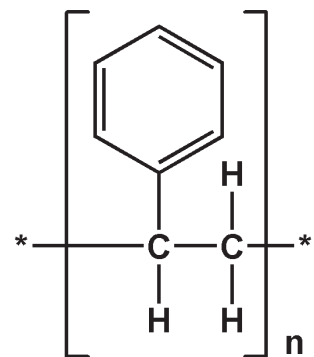
PET



PP



PVC



PS

cui il polimero rappresenta il costituente fondamentale.

Secondo questa definizione, sarebbe classificata a tutti gli effetti come plastica una moltitudine di materiali naturali dotati di una struttura di macromolecole ripetute come la cellulosa, il caucciù, le gomme naturali e il Dna. Tuttavia questi non sono normalmente considerati tali: per convenzione, un materiale polimerico è classificato come plastica solo se prodotto dall'uomo, sia nel caso dei *polimeri artificiali*

Apparentemente non sembrano definizioni particolarmente contrastanti fra loro, ma un semplice esempio ci chiarirà l'ambiguità. Gli alcoli polivinilici sono sì di origine sintetica, ma sono anche facilmente biodegradabili; essi rientrerebbero, quindi, nella prima definizione, ma non nella seconda. La questione della definizione univoca della bioplastica rimane quindi ancora irrisolta.

Il ciclo di vita della plastica

Un materiale plastico attraversa varie fasi nel corso della sua vita: una volta sintetizzato, il polimero viene additivato e trattato mediante particolari processi industriali, a seconda del tipo di oggetto che s'intende produrre. Da questo momento in poi tale manufatto entrerà in "servizio attivo" e sarà utilizzato per un tempo che può essere breve, come quello di un sacchetto della spesa, o lungo, come quello dei materiali utilizzati per fabbricare gli elettrodomestici. Verrà comunque un giorno in cui arriverà alla fine del suo ciclo vitale.

La sete che ci fa svuotare rapidamente le numerose bottigliette di acqua e bibite varie, il desiderio di possedere sempre gadget tecnologici di ultima generazione - siano essi televisori, computer, cellulari - o, ancora, il semplice logorio del tempo, contribuiscono alla formazione delle montagne di rifiuti da gestire, possibilmente in maniera sostenibile. Il cammino dell'oggetto

di plastica si trova ad un bivio: potrà essere riciclato o smaltito mediante conferimento in discarica o incenerimento, mentre assai raramente ne è possibile il riutilizzo. A deciderne il destino sarà in primo luogo il tipo di polimero con cui è prodotto.

Sono detti riciclabili i materiali termoplastici per i quali è sufficiente aumentare opportunamente la temperatura per riportarli allo stato viscoso e formarli da capo (vedi box). Non sono invece riciclabili i materiali a base di polimeri termoindurenti che, una volta prodotti, non possono essere fusi, in quanto inevitabilmente bruciano e si carbonizzano.

Inoltre, va considerato un fondamentale criterio economico: il costo sostenuto per produrre un oggetto con materiale riciclato non deve superare quello della materia prima vergine. Questo è il motivo per cui non si riciclano materiali che possono essere "contaminati" da residui organici, come i piatti e le posate usa e getta, in cui l'elevata spesa per la necessaria operazione preliminare di lavaggio rende il riciclaggio svantaggioso.

MATERIALI TERMOPLASTICI E TERMOINDURENTI

La termoplastica è formata da polimeri dotati di catene lineari con scarsa ramificazione. Il materiale può avere una struttura semi-cristallina o amorfa. Una volta termoformato si raffredda solidificandosi rispettivamente per cristallizzazione o vetrificazione. Portando il materiale a una temperatura sufficientemente alta, questo passerà nuovamente dalla fase solida a quella viscosa. Potrà quindi essere rimodellato e solidificato di nuovo, anche se non un numero infinito di volte, perché ad ogni passaggio di fusione-solidificazione le sue proprietà (elasticità, colore, resistenza ecc.) si degradano, ancorché solo parzialmente, rispetto al materiale di partenza.

La plastica termoindurente è costituita da una struttura reticolare tenuta assieme da legami covalenti tra catene polimeriche adiacenti, che si formano attraverso un processo di riscaldamento, il quale permette poi di stampare il materiale per ottenere la forma richiesta. Una volta raffreddato, questa tipologia di plastica non potrà più essere riscaldata, poiché un nuovo processo di fusione causerebbe la degradazione chimica del materiale (carbonizzazione).

Rifiuti galleggianti raccolti sulle spiagge del French Frigate Shoals, il più grande atollo delle isole Hawaii nordoccidentali. Tra i 288 detriti raccolti in circa un mese troviamo tra l'altro: 34 tappi, 33 bottiglie di plastica e 19 di vetro, cinque scarpe, tre lampadine fluorescenti e tre a incandescenza.

[Immagine: Duncan Wright, U.S. Fish and Wildlife Service, 2006]

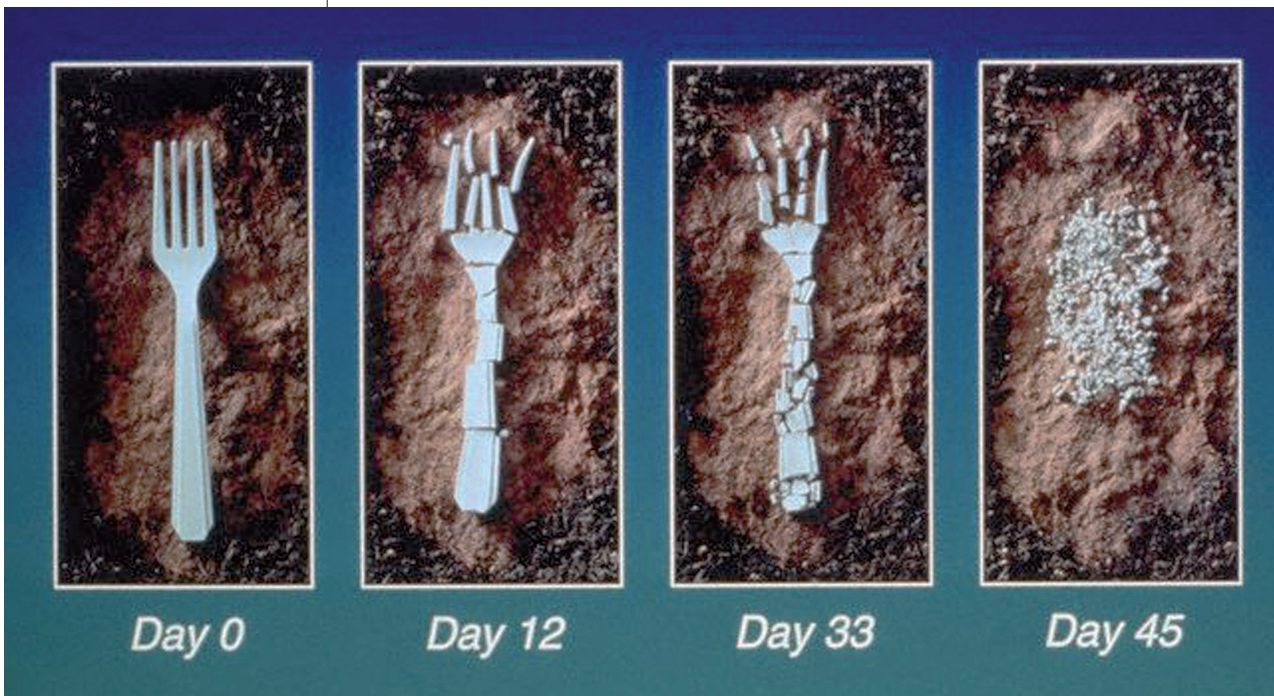


A una parte dei rifiuti plastici non riciclabili è comunque offerta un'ultima possibilità di rendersi utili attraverso la termovalorizzazione, tramite la quale l'energia intrappolata nei legami chimici è liberata attraverso il processo di combustione, con produzione di calore che può essere usato tal quale o convertito in energia elettrica.

Le problematiche legate a questo tipo di utilizzo, come la produzione di scorie solide e di polveri sottili, sono tutt'oggi oggetto di discussione. Gli studi ecologici, sanitari ed epidemiologici sono troppo recenti per fornire dati sicuri. A tal merito è lampante la differenza tra l'opinione espressa dall'Unione europea e le norme vigenti in Italia. Per una trattazione più approfondita delle problematiche legate al riciclaggio e all'incenerimento della plastica rimandia-

che talvolta galleggiano in mare, nei laghi o nei fiumi e rappresentano un grave pericolo per la vita acquatica.

Il problema della plastica è dunque strettamente collegato alle sue maggior qualità: la stabilità chimica e la resistenza che ne determinano la lunga permanenza in ambiente. Per degradare il materiale è necessario rompere i legami delle catene polimeriche che lo compongono, processo che in condizioni naturali di temperatura, umidità ecc. risulta molto lento. Certo l'ossidazione a contatto con l'aria, l'azione dei raggi ultravioletti del Sole e le variazioni termiche possono portare alla rottura dei legami delle catene polimeriche, ma servono decine e decine di anni perché possa cominciare una tangibile degradazione dei materiali.



Fasi del processo di degradazione di una forchetta di bioplastica dopo 0, 12, 33 e 45 giorni.
[Immagine: <http://plasticdiaries.blogspot.it>]

mo allo speciale su rifiuti di *Green* (n. 14, luglio 2008).

Infine, ecco lo smaltimento meno indicato: la discarica. Qui sono destinati gli oggetti fatti con la plastica che non può essere riciclata o termovalorizzata. I tempi dei processi naturali di degradazione sono, infatti, lunghissimi e tracce di queste sostanze possono persistere in ambiente per oltre mille anni. In Italia la percentuale di rifiuti plastici che termina la sua vita in discarica è piuttosto elevata e potrebbe essere facilmente ridotta tramite un maggior uso della raccolta differenziata. Stendiamo poi un velo pietoso sull'inciviltà di chi abbandona - ad esempio, in un bosco o sulla spiaggia - bottiglie, buste, oggetti monouso e quant'altro, per non parlare dei sacchetti

Plastica eco-sostenibile

Le proprietà che seguono sono quelle che maggiormente caratterizzano la plastica eco-sostenibile.

Il più noto è quello di *biodegradabilità*. Per essere definito biodegradabile una materia deve potersi decomporre in natura in sostanze più semplici. Condizione necessaria perché ciò avvenga è la presenza di un microrganismo (solitamente batteri e/o funghi) la cui attività enzimatica attacca la struttura del materiale, liberando quindi sostanze semplici che vengono assorbite dall'ambiente senza alterarlo. Le plastiche tradizionali, che sono formate da una molecola xenobiotica troppo complessa per subire l'attacco microbico, sono il caso più

Sette diversi tipi mutanti di mais (*Zea mays*). Questa pianta è la fonte di amido più usata per realizzare biopolimeri.

[Immagine: Keith Weller, USDA Agricultural Research Service, Usa, 2005]

emblematico di materiale non degradabile. Se il materiale polimerico, oltre a essere biodegradabile, una volta decomposto viene metabolizzato ed eliminato da un sistema biologico senza causarne alterazioni, viene detto *bioassorbibile*; caratteristica di fondamentale importanza per applicazioni quali quelle protesiche, chirurgiche e farmacologiche.

Un altro concetto importante legato ai tempi di biodegradazione è quello di *compostabilità*. Si definisce compostaggio una procedura di riciclo di rifiuti organici che avviene in condizioni ben definite e controllabili e in tempi relativamente brevi. Dalla decomposizione e umificazione di sostanze più complesse si ottiene il compost, un materiale che ha importanti applicazioni in agricoltura, ad esempio come fertilizzante.

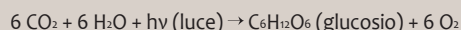
Strettamente correlato al processo di compostaggio è anche il concetto di *disintegrabilità*: il materiale deve potersi frammentare spontaneamente in modo da essere indistinguibile nel compost finale. Questa caratteristica viene evidenziata tramite una specifica prova di laboratorio: il materiale in esame è trattato assieme a rifiuti organici per tre mesi, conclusi i quali, dall'analisi



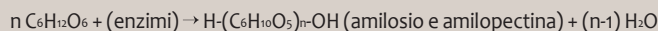
del materiale compostato, si dichiara il materiale *disintegrabile* solo se i residui che superano una certa dimensione critica costituiscono una percentuale inferiore al 10% della massa iniziale. Disintegrabilità e biodegradabilità sono quindi due caratteri-

IL CICLO DI VITA DELL'AMIDO

L'amido è un polimero organico prodotto in natura dalle piante verdi come riserva energetica. Il monomero alla base della sua struttura è il glucosio, ottenuto assieme all'ossigeno mediante la fotosintesi clorofilliana, a partire da anidride carbonica e acqua:



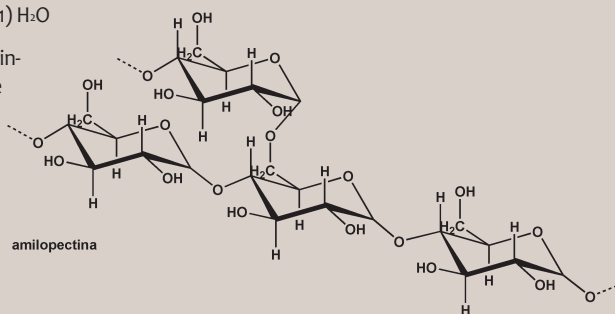
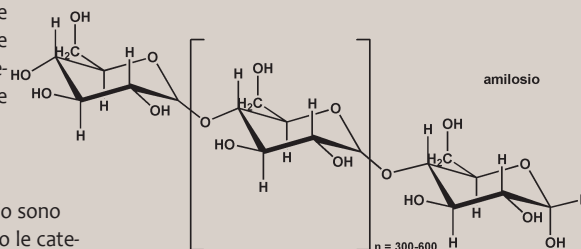
Tramite l'azione di particolari enzimi, le molecole di glucosio sono polimerizzate per formare i due composti che costituiscono le catene dell'amido: il primo è un polisaccaride lineare, l'amilosio, il secondo è un polisaccaride altamente ramificato, l'amilopectina:



Infine, grazie alla successiva azione di un ulteriore enzima, l'amido-sintetasi, le molecole di amilosio e amilopectina vengono polimerizzate per formare la molecola di amido vera e propria.

La percentuale di amilopectina varia in base alla pianta di origine, attestandosi in genere attorno al 70%. La presenza di numerosi gruppi ossidrilici (-OH) permette la formazione di legami a idrogeno non covalenti tra le varie catene, conferendo alla macromolecola una struttura reticolare complessa, rigida e cristallina, inadatta a produrre un materiale termoplastico. Si ricorre allora a sostanze plastificanti che, mischiate con l'amido ad alta temperatura, rompono la struttura semi-cristallina del materiale, rendendolo adatto alle varie tecniche di lavorazione meccanica delle plastiche. A tal scopo si può usare il glicerolo, oggi disponibile in abbondanza, in quanto rappresenta un sottoprodotto della comune sintesi del biodiesel (vedi Green n. 5, pagg. 34-41).

La degradazione delle bioplastiche di amido in acqua avviene mediante idrolisi. Come si può vedere dalla figura, i monomeri di glucosio che costituiscono la struttura della molecola sono connessi mediante un legame covalente che può essere "attaccato" dalle molecole d'acqua: il polimero viene così frammentato in molecole più piccole, fino ad ottenere zuccheri semplici facilmente utilizzabili dai microrganismi presenti in ambiente, per essere infine convertiti nuovamente in acqua e anidride carbonica utilizzabili nella fotosintesi.



stiche necessarie affinché il materiale possa ritenersi compostabile a tutti gli effetti. Possiamo dire, semplificando forse un po' le cose, che il candidato ideale per il ruolo di plastica del futuro dovrà possedere le caratteristiche sopra descritte. Alla sua biodegradabilità, che ci garantisce il basso impatto ambientale del materiale in smaltimento, si affianca il concetto più stringente di compostabilità, che indica la possibilità di un ben preciso trattamento volto a massimizzare il recupero di materia ed energia dal rifiuto.

La ricerca di soluzioni in tal senso ha portato alla formazione di due differenti scuole di pensiero. Nella prima, quella delle bioplastiche, si cerca di "imitare la natura" sfruttando delle macromolecole già esistenti (ad esempio, amido e zucchero) e studiando la possibilità di una loro polimerizzazione artificiale. Nella seconda, ci si concentra invece sui materiali plastici tradizionali e si studia l'effetto di speciali additivi che, aggiunti in minima misura e in determinate condizioni operative, rendono il materiale plastico biodegradabile, permettendo la trasformazione della plastica tradizionale in acqua e anidride carbonica. Attualmente a fare la differenza tra le due soluzioni proposte è il tempo effettivo di degradazione del materiale. Per le bioplastiche questo si aggira sui 6-9 mesi, mentre per le plastiche additivate varia tra 12 e 36. Alla luce della più recente normativa europea, secondo cui il tempo massimo di biodegradazione per considerare un materiale idoneo al compostaggio è di 6 mesi, la scelta per ora deve cadere sulla prima soluzione. Tuttavia tale normativa potrebbe essere rivista in modo da riabilitare anche la seconda possibilità, viste le buone prestazioni delle plastiche additivate che sono emerse dalle sperimentazioni in laboratorio.

Una vecchia pellicola cinematografica fatta di celluloido.
[Immagine: <http://www.glidemagazine.com>]



Biopolimeri e bioplastiche

Discutendo delle varie problematiche riguardanti la plastica, abbiamo già avuto modo di parlare dei biopolimeri. Vediamo ora quali sono quelli più promettenti per le applicazioni pratiche. Premesso che il posto d'onore tra questi spetta sicuramente ai derivati dell'amido, i quali costituiscono circa il 75% della produzione odierna, ve ne sono altri che ne hanno lo stesso potenziale e potrebbero invadere il mercato in un prossimo futuro.

Esistono oggi quattro metodi principali per la produzione di bioplastiche:

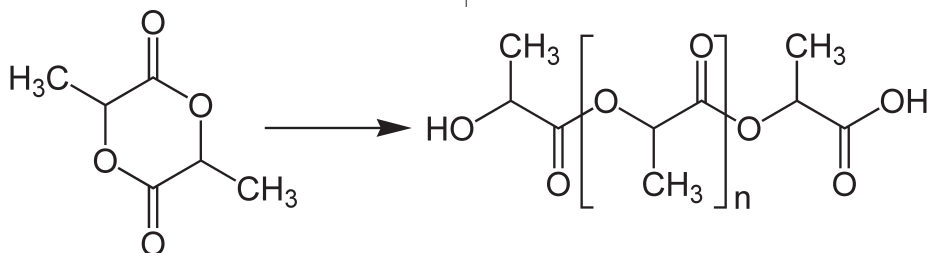
- utilizzo di polimeri naturali;
- biopolimeri ottenuti per fermentazione microbica;
- polimerizzazione di biomonomeri prodotti da microorganismi o da vegetali, anche geneticamente modificati;
- polimerizzazione da biomonomeri o monomeri fossili.

Il primo metodo è quello attualmente più diffuso. Il secondo è il più promettente per il futuro, mentre il terzo presenta ancora costi troppo elevati per una produzione di massa. Il quarto è quello più "pionieristico", su cui si stanno concentrando gli studi di numerosi gruppi di ricerca pubblici e privati. Analizziamo in maggior dettaglio i primi tre, attraverso la descrizione di un esempio concreto di cui discuteremo origine, metodo di produzione, applicazioni, pro e contro.

Bioplastiche ottenute da polimeri naturali

In questo caso la bioplastica è prodotta a partire da un materiale naturale che viene sottoposto a trattamenti chimici, termici e meccanici. Il più rappresentativo è senz'altro l'amido, molto diffuso nel regno vegetale; solitamente ricavato dal mais o dal frumento, ma anche dalla patata, dalla tapioca e dal riso (vedi box). È indubbiamente la materia prima più utilizzata, grazie al basso costo di produzione e alla versatilità dei processi di lavorazione a cui si adatta. Esistono infatti sul mercato diverse varietà di queste bioplastiche, classificate in base al tipo di amido di partenza: parzialmente fermentato, puro destrutturato, modificato tramite la sostituzione di gruppi ossidrilici (R-OH), con gruppi eterici (R-OR') o esterici (R-CO-OR'), o in base alla miscelazione con altri polimeri o additivi.

Il processo di polimerizzazione del PLA passa attraverso la formazione di un dimero che poi ciclizza per formare un estere lattide, il cui anello viene poi aperto e polimerizzato tramite un processo termo-catalitico.



Variando le modalità di produzione si possono ottenere prodotti con proprietà meccaniche anche molto diverse, passando da materiali flessibili, simili al polietilene sintetico, a quelli più rigidi, come il polistirene. Si possono così ottenere, ad esempio, sacchetti per la spesa o contenitori per imballaggio. Circa il 75% dei polimeri di amido viene utilizzato nel packaging, ge-

nerico e alimentare, il restante 25% trova impiego in agricoltura. Si tratta di un materiale altamente biodegradabile in acqua ed estremamente sensibile all'umidità. Sebbene queste proprietà lo rendano inadatto a contenere liquidi, garantiscono dall'altro lato il rapido smaltimento del prodotto (vedi box).

Importanti sono anche le applicazioni di un altro polimero naturale: la cellulosa, molecola anch'essa di origine vegetale, abbastanza simile all'amido. Pur non potendo competere con quest'ultimo in termini di prestazioni, può consolarsi col primato storico: è stata, infatti, tra i primi materiali utilizzati per produzione di bioplastiche, alcune delle quali fanno da tempo parte del nostro quotidiano come il cellofan (idrato di cellulosa) o il rayon, una fibra tessile che si ottiene con un processo simile. Molto nota è anche la celluloid (triacetato di cellulosa), ampiamente utilizzata in passato per realizzare pellicole fotografiche e cinematografiche.

Il maggior difetto dei polimeri della cellulosa è l'elevata infiammabilità; molti di noi avranno visto immagini di vecchie pellicole di celluloid che si incendiano al calore della lampada del proiettore. Attualmente il loro uso è limitato a rare applicazioni di nicchia, sebbene rimanga l'importanza storica di questi biopolimeri: già agli inizi del ventesimo secolo, essi hanno permesso la produzione di ciò che oggi definiremmo senz'altro come bioplastiche.

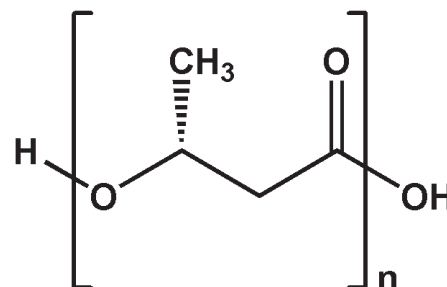
Polimerizzazione di biomonomeri ottenuti per fermentazione

Il materiale più rappresentativo di questa categoria è indiscutibilmente l'acido polilattico (PLA). Sebbene questo nome sia quello più usato, è più corretto parlare di polilattato, visto che in realtà non si tratta

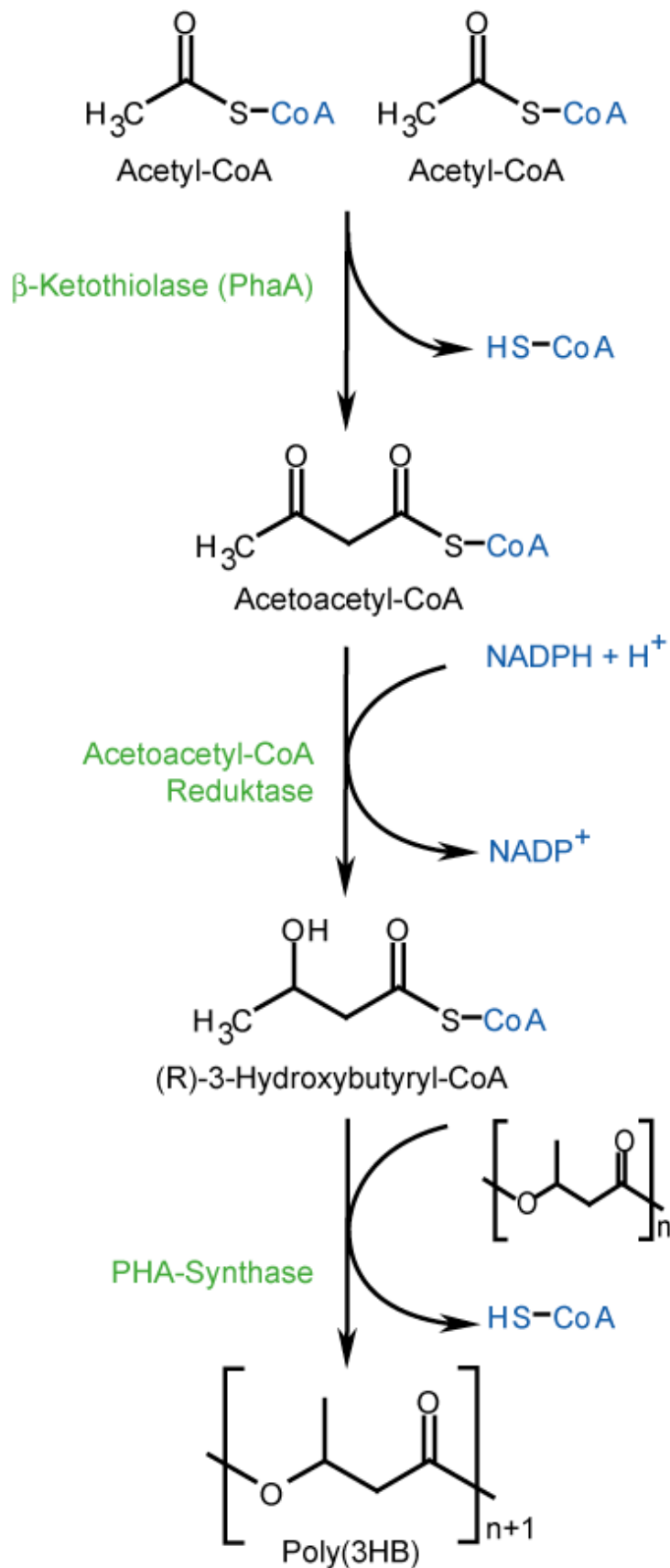
di un poliacido, ma di un poliester. Storicamente è stato il secondo biopolimero ad essere immesso sul mercato e commercializzato su larga scala. Presenta buone prestazioni fisiche e meccaniche, che gli permettono di essere impiegato in molte applicazioni. Il suo utilizzo è stato fino a oggi limitato principalmente dall'elevato costo di fabbricazione, anche se le recenti innovazioni tecnologiche potrebbero permettere una produzione del polimero su vasta scala industriale per l'uso di massa.

La sostanza di partenza è ancora una volta l'amido. In questo caso però esso non viene inglobato nel polimero, ma rappresenta una materia di partenza per ottenere zuccheri semplici, quali glucosio e/o destrosio, tramite un processo di idrolisi acida enzimatica. La fonte più utilizzata è ancora il mais, che ne contiene circa il 60-65% in peso. Dopo averlo macinato e trattato con gli enzimi, si formano zuccheri semplici che possono essere fermentati da opportuni batteri (solitamente del genere *Lactobacillus*) per ottenere acido lattico. Una volta separato e concentrato dal brodo di fermentazione, si adotta un particolare processo di polimerizzazione in quanto si formano molecole d'acqua che "disturbano" la reazione e devono essere allontanate per ottenere il prodotto finale.

Così come i polimeri da amido, anche il PLA trova il suo principale impiego nel packaging alimentare (circa il 70% della produzione totale). Proprietà caratteristiche di questo materiale sono infatti la durezza, la resistenza agli urti e l'elasticità che lo rendono analogo al ben noto PET, con cui si realizzano i contenitori per liquidi. Fino ad oggi risultava inadatto a contenere bevande calde a causa della bassa temperatura di fusione vetrosa (60 °C), ma recenti ritrovamenti permettono di utilizzarlo fino a 110 °C. D'altra parte presenta un maggior effetto barriera nei confronti dell'umidità rispetto al PET e, quindi, è più adatto all'imballaggio di alimenti solidi igroscopici. Altro campo di applicazione del PLA è quello biomedicale, essendo un polimero che presenta ottime proprietà di bioassorbibilità da parte di un sistema biologico.



Struttura del poli-(R)-3-idrossibutirrato (P3HB), un membro della famiglia dei poliidrossialcanoati (PHA).



Biopolimeri ottenuti per fermentazione

Degna rappresentante di questa categoria di biopolimeri è la famiglia dei PHA (dall'anglosassone *PolyHydroxyAlkanoate*, poli-idrossialcanoati), chimicamente classificabile tra i poliesteri alifatici. In natura essi rappresentano dei prodotti di accumulo del metabolismo energetico di alcuni microrganismi (tra cui alcune specie dei batteri del genere *Pseudomonas*), nelle cui cellule vengono stoccati sotto forma di granuli.

Il processo di produzione industriale è articolato in tre fasi. Si parte dal processo di fermentazione, usando un'opportuna fonte di carbonio - solitamente uno zucchero semplice come il saccarosio o il glucosio (ma anche glicerina o olio vegetale) - posta nel reattore insieme a particolari microrganismi. Questi sono incapaci di assimilarla direttamente e devono, quindi, modificare chimicamente il substrato di carbonio per sintetizzare una molecola di riserva utilizzabile per la produzione di energia in caso di necessità: il PHA, per l'appunto.

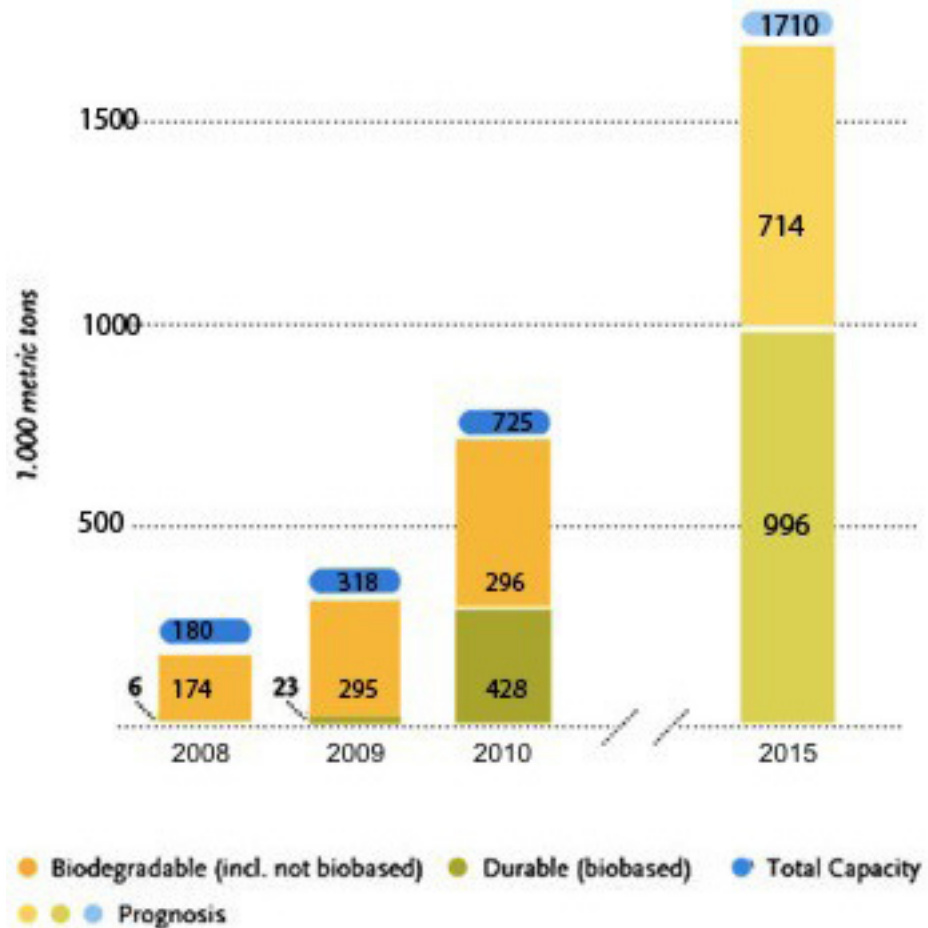
La seconda fase è quella dell'isolamento e purificazione. Utilizzando un solvente a caldo che discioglie selettivamente il prodotto desiderato, ma non i costituenti della cellula, lo si può allontanare dai residui di biomassa. Si aggiunge quindi alla soluzione così ottenuta un precipitante che fa sedimentare il biopolimero, il quale può così essere recuperato allo stato puro. L'ultima fase prevede la miscelazione e la cristallizzazione per ottenere dei granuli facilmente trasportabili e utilizzabili direttamente per realizzare i manufatti.

Le qualità e proprietà dei prodotti ottenuti dipendono dal tipo di microrganismo che si è utilizzato per la fermentazione e dalla formulazione della miscela finale. Anche in questo caso ci troviamo davanti a un polimero versatile. Ad esempio, può sostituire il PET nella fabbricazione di bottiglie, o il polipropilene nella produzione di isolanti, etichette e custodie. L'unico vero limite è il costo di produzione, oggi ancora troppo elevato per permetterne una diffusione su larga scala. Nonostante ciò, diversi colossi della chimica hanno scommesso sul PHA, confidando nel miglioramento dei processi produttivi e nell'aumento della domanda nei prossimi anni.

La sintesi enzimatica di poli-β-idrossibutirrato, un PHA, a partire dall'acetil coenzima A, una molecola fondamentale per i processi metabolici in pratica di tutti li esseri viventi..

La quantità di bioplastica prodotta negli anni 2008, 2009 e 2010 e stima della produzione che si potrebbe raggiungere nel 2015. Valori in migliaia di tonnellate.

[Fonte: European Bioplastics]



Le prospettive di mercato

La precedente descrizione delle principali bioplastiche presenti già oggi sul mercato fornisce indicazioni su quelle che sono le loro potenzialità: la varietà delle materie prime rinnovabili utilizzabili, unita alle diverse modalità di produzione, ci permette di ottenere dei materiali con proprietà fisiche, meccaniche e chimiche estremamente differenti l'una dall'altra. In pratica, per ogni plastica "tradizionale" potremmo trovare un sostituto "bio". Se in molti casi si preferisce ancora impiegare quelle del primo tipo invece degli alter ego biodegradabili, non è tanto per un problema di prestazioni e qualità che, pure, in alcuni casi esiste, quanto per il costo di produzione, spesso troppo elevato per essere competitivo sul mercato.

Sebbene questo sia il quadro attuale, molti aspetti socio-economici di un futuro non troppo lontano potrebbero sfavorire la produzione legata ai derivati del petrolio, come il prezzo in continuo aumento di quest'ultimo, la presa di coscienza dell'opinione pubblica e un conseguente nuovo orientamento dei consumatori o, ancora, l'allargamento delle normative che costringono all'uso dei biopolimeri, per ora limitato agli shopper nell'ambito delle ap-

plicazioni di massa. Infatti, sulla scia delle scelte all'avanguardia di Francia e Germania, in Italia con la manovra finanziaria del 2007 si è introdotto un programma "per la progressiva riduzione della commercializzazione di sacchi per l'asporto delle merci che, secondo i criteri fissati dalla normativa comunitaria e dalle norme tecniche approvate a livello comunitario, non risultino biodegradabili [...] al fine di giungere al definitivo divieto, a decorrere dal 10 gennaio 2010, della commercializzazione di sacchi non biodegradabili per l'asporto delle merci che non rispondano entro tale data, ai criteri fissati dalla normativa comunitaria e dalle norme tecniche approvate a livello comunitario".

Sembrerebbe quindi che il ruolo delle bioplastiche nella nostra quotidianità sia destinato a divenire sempre più importante. Sebbene oggi rappresentino solo il 5-10% della produzione mondiale, secondo uno studio condotto dall'Università di Utrecht nel 2009, per conto dell'European Polysaccharide Network of Excellence e dell'European Bioplastics Association, la percentuale potrebbe salire al 30% in tempi brevi, anche utilizzando solo le tipologie già disponibili. Altri dati indicano che, nel medio termine, il 90% del corrente consumo globale di polimeri sarà potenzialmente

Tubature per il trasporto di gas ad alta pressione realizzate con biopolimeri.
[Immagine: Atmos Energy Corp.]



Un'automobile con interni quasi interamente realizzati in plastica ecologica biodegradabile.
[Immagine: Toyota]

La produzione di biopolimeri comporterebbe, infatti, il problema della sottrazione a livello mondiale d'importanti risorse agronomiche destinate all'alimentazione (mais, riso, cereali in genere), testimoniata, tra l'altro, dall'aumento del prezzo del mais in America Latina nel 2006. Stessa sorte potrebbe colpire il riso o i cereali in genere, provocando contraccolpi economici anche in Europa.

Questo rimane, ad oggi, uno degli aspetti più controversi della questione, anche se altri dati indicano che, anche se venissero fabbricate nelle massime quantità stimate dalle ricerche di mercato, le bioplastiche distoglierebbero dall'uso alimentare solo



percentuali minime delle produzioni agricole; ad esempio, nel caso del mais questo valore si attesterebbe attorno allo 0,04%.



Uno scarponne da trekking e uno da sci realizzati interamente con plastica riciclabile.
[Immagine: Timberland]

Un modello di cellulare con struttura esterna e schermo in bioplastica.
[Immagine: Nokia]



sostenuto dalle bioplastiche. Può darsi che quest'ultima previsione sia eccessivamente ottimistica, ma è un dato di fatto che il loro impatto sul mercato sia in costante aumento. Un altro studio del 2011, condotto dall'Università di Hannover per conto dell'European Bioplastics Association, ha stimato la produzione globale di bioplastica del 2008 attorno alle 320mila tonnellate e ha previsto che entro la fine del 2011 si sarebbe dovuta sfondare la soglia psicologica del milione di tonnellate, cifra destinata a raddoppiare, o quasi, nel 2015 con 1,7 milioni di tonnellate.

Negli ultimi anni l'industria di settore ha sviluppato numerose applicazioni dei biopolimeri, alcune delle quali sono molto curiose. Accanto agli spazzolini da denti, tubetti di dentifricio, portamonete, piatti e cinture composti interamente in bioplastica, troviamo manufatti sorprendenti quali le tubature ad alta pressione per il trasporto di gas naturale, un modello di scarpe interamente riciclabile e una vaschetta da bagno per neonati realizzata interamente in resina di tapioca. Degni di nota anche un'automobile con interni composti per l'80% da materiali biodegradabili e un recente modello di cellulare con struttura esterna e touchscreen interamente composti di biopolimeri.

A fronte delle loro potenziali applicazioni di massa, va considerato che accanto alle numerose qualità le bioplastiche presentano diverse problematiche, sebbene pare che il bilancio complessivo sia a favore del loro utilizzo. Esistono però opinioni differenti a cui bisogna dar voce. Ad esempio, secondo Paolo Broglio, ricercatore universitario e direttore scientifico dell'organizzazione di ricerche ambientali "Ecologia Applicata", alle bioplastiche sarebbe da preferire l'utilizzo di additivi chimici in grado di rendere biodegradabili quelle derivate dal petrolio.

Ultimissime dalla ricerca

In extremis, mentre stavamo chiudendo il pezzo, riportiamo - quasi fosse un beneaugurante *post scriptum* - alcuni importanti risultati della ricerca scientifica e tecnologica italiana.

Gli studiosi dell'Istituto di Chimica biomolecolare del Cnr sono da poco riusciti a produrre una bioplastica dalle bucce di pomodoro, sfruttando così uno dei rifiuti organici più abbondanti della nostra industria agro-alimentare. Le prestazioni in termini di resistenza paiono essere molto buone, rendendo questo innovativo materiale un potenziale candidato per la produzione, tra l'altro, di materiali da imballaggio o di buste per la spesa. I nostri ricercatori stanno proseguendo la loro indagine, al fine di identificare possibili applicazioni della stessa tecnologia ad altri scarti dell'agro-alimentare, sia di origine vegetale (finocchi, carote, limoni) che animale (crostacei). Quale sarà il ruolo di questa scoperta a livello applicativo lo deciderà l'industria, che dovrà valutare se investire sin d'ora su questa pionieristica metodologia produttiva ecosostenibile.

**Michele Bertucci
e Annalisa Moneta**
Fisici, collaboratori del
Dipartimento di Fisica
dell'Università degli Studi di Milano