

## **I poliidrossi alcanati (PHA), plastiche con un grande futuro**

### **1. Le plastiche in relazione ad altre tipologie di materiali**

Le plastiche hanno avuto, negli ultimi 50 anni, tassi di crescita molto più alti rispetto ad altri tipi di materiali (metallici, ceramici, legno,...), ed un maggior incremento della loro produzione è prevista anche per i prossimi decenni. Già nel 1979 il volume di produzione delle materie plastiche superò quello dell'acciaio, e un'analisi dei dati degli ultimi decenni mostra che la crescita media delle materie plastiche è superiore al 6% per anno, mentre per altri materiali quali il legno, l'alluminio e il rame la crescita è stata inferiore al 2%/anno e addirittura minore del 1%/anno quella dell'acciaio.

I motivi di un tale successo derivano dal fatto che la plastica entra praticamente in tutti i settori di produzione di beni (imballaggio, edilizia, autoveicoli, industria aereospaziale, dispositivi medicali, elettronica, elettrodomestici, agricoltura e industria alimentare, arredamento, fibre e tessuti, giusto per ricordarne alcuni) dimostrandosi fondamentale per il miglioramento della qualità e della sicurezza della nostra vita quotidiana. Ed è unanimemente previsto che il suo ruolo sarà indispensabile anche per il futuro.

La ragione di questa vastissima diffusione deriva da alcune caratteristiche specifiche delle materie plastiche (leggerezza, resistenza, capacità isolante, ecc.) determinate dalla loro natura organica e macromolecolare, ma anche dalla loro versatilità in termini di proprietà, derivante dalla relativa facilità con cui si possono ottenere strutture molecolari diverse e illimitate formulazioni che, attraverso l'aggiunta di additivi, consentono alle plastiche di 'adattare' le loro proprietà alle esigenze d'uso (materiali tagliati su misura, 'taylor made materials'). A questa peculiarità delle plastiche, si aggiunge inoltre un'elevata versatilità in termini di tecnologie di lavorazione (trasformazione dei granuli in semilavorati, lastre, fili, tubi,..., o in articoli finiti) essendo disponibili, per ogni singola plastica, svariate tecnologie ad alta produttività e che spesso richiedono bassi costi di investimento.

Naturalmente, tutto ciò non avrebbe consentito il grande successo delle plastiche se la grande versatilità sopra citata non avesse determinato anche un costo dei manufatti relativamente basso.

In altre parole, il successo delle materie plastiche rispetto ad altre tipologie di materiali deriva da una combinazione di fattori, costi contenuti, versatilità in termini di proprietà, ampia disponibilità di tecnologie, che si traducono in un rapporto proprietà/prezzo per gli oggetti prodotti particolarmente vantaggioso.



## **2. Principali tipi di plastiche e loro classificazioni**

Le materie plastiche possono essere classificate in diversi modi in relazione al termine di confronto considerato. Le principali classificazioni dividono le materie plastiche in:

- sintetiche o naturali, in relazione al fatto che siano prodotte da organismi viventi o da monomeri di sintesi;
- termoplastiche o termoindurenti, in relazione al loro comportamento a ripetuti riscaldamenti e raffreddamenti;
- semicristallini o amorfi, in relazione alla capacità delle macromolecole di associarsi o meno in domini ordinati;
- commodities, tecnopolimeri e plastiche ad elevatissime prestazioni, in relazione alla variazione delle loro proprietà con la temperatura, e quindi, in buona sostanza, alla loro massima temperatura d'uso (all'aumentare della quale va ricordato corrispondono un costo crescente ed un minor consumo);

Oggi, la maggior sensibilità ai temi ambientali, ed in particolare alla crescita sostenibile, ha spinto ad introdurre ulteriori classificazioni, distinguendo le plastiche derivate da petrolio (oil-based plastics) da quelle ottenute da fonti rinnovabili (bio-based plastics) e le plastiche biodegradabili da quelle non biodegradabili.

A tutt'oggi, la grande maggioranza delle materie plastiche è costituita da materiali termoplastici di origine petrolchimica. In particolare, le commodities (polietilene, polipropilene, PVC, polistirene, PET, e loro derivati) costituiscono da sole oltre il 90% di tutte le plastiche consumate. Tra queste le poliolefine (polietilene, polipropilene e loro derivati) rappresentano ca. il 65 % del totale, con tassi di crescita del 7%/anno negli ultimi decenni contro un tasso di crescita medio del 4-5 % per le altre plastiche appartenenti alla classe delle commodities.

Anche se oggi le plastiche da fonti rinnovabili sono solo una piccola percentuale di tutte le plastiche prodotte (ca 1%), la loro crescita/anno è elevata (ca. 20%/anno) e, in considerazione della sempre crescente sensibilità ambientale e nella prospettiva del progressivo esaurimento delle fonti fossili, costituiscono sicuramente una importante alternativa alle materie plastiche tradizionali sia nel settore delle commodities che in quello dei tecnopolimeri.

## **3. Plastiche e sviluppo sostenibile**

La sensibilità ambientale, molto cresciuta negli ultimi decenni nelle opinioni pubbliche dei paesi economicamente più evoluti, richiede che le decisioni in merito alla gestione dei processi produttivi e dei flussi dei rifiuti non siano prese sulla base di considerazioni puramente tecniche



ed economiche, ma che tengano in conto considerazioni di sostenibilità ambientale, ed in particolare di un uso sostenibile delle risorse, delle emissioni nell'ambiente di gas serra (GHG, greenhouse gases) e microinquinanti, dei fenomeni di eutrofizzazione, del consumo di acqua, ecc.

Per valutare il grado della sostenibilità delle attività economiche sono stati proposti vari indici di sostenibilità che tengono conto degli aspetti ambientali, ma anche economici e sociali, e li quantificano mediante l'uso di indicatori quali:

emissioni di CO<sub>2</sub> / energia prodotta (CO<sub>2</sub> intensity of energy)

emissioni di (N<sub>2</sub>O + CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>)/popolazione (GHG emission per capita):

acqua utilizzata/acqua rinnovabile totale (use of renewable water resources)

energia utilizzata/ PIL (energy intensity)

energia importata/ energia totale utilizzata (%) (imported energy)

produzione di energia pulita/energia complessiva utilizzata (%) (clean energy)

specie ad alto rischio di estinzione/specie totali a rischio di estinzione (%) (biodiversity index of plants)

specie ad alto rischio di estinzione/specie totali a rischio di estinzione (%) (biodiversity index of animals).

In un'ottica di sostenibilità ambientale, l'utilizzo di tutti o di solo una parte di tali indicatori, scelti sulla base di uno specifico scenario, dovrebbe diventare la guida anche per la selezione dei materiali e dei processi produttivi per ogni specifica applicazione.

I principali problemi ambientali che vengono percepiti in relazione all'impiego di materie plastiche sono connessi alla contaminazione 'visiva' dell'ambiente da parte di oggetti di plastica, alla gestione dei processi di smaltimento dei rifiuti e al consumo di risorse fossili (petrolio, gas naturali, carbone).

Naturalmente il problema dell'impatto 'visivo' ambientale connesso con l'eccessivo impiego di oggetti in plastica non può essere ignorato; sono negli occhi di tutti le immagini di contenitori in plastica che deturpano mari, coste e fiumi. Sono altresì in discussione gli effetti che tali rifiuti dispersi nell'ambiente possono avere sul rischio di estinzione di alcune specie animali.

In relazione al problema generale della gestione dei rifiuti (urbani e industriali), la ragione principale per cui le plastiche sono considerate un problema deriva dagli elevati volumi di plastica prodotti (nel 2007, la produzione complessiva di materie plastiche nel mondo, escluse le fibre, è stata di ca. 260 Mt), che, come conseguenza, determinano elevati volumi nel flusso dei RSU (rifiuti solidi urbani). Tipicamente le plastiche costituiscono il 7-8% in peso e il 20-30% in volume dei RSU e sono principalmente derivate da plastiche da imballaggio.



La Direttiva Europea del 2008 riguardante la gestione dei rifiuti individua come prioritarie le seguenti azioni: riduzione dei rifiuti, riuso totale o parziale dei beni diventati rifiuti, riciclo (recupero di materia) e recupero di energia, naturalmente in alternativa allo smaltimento in discarica che dovrebbe costituire l'ultima opzione da praticare.

La **riduzione** del volume dei rifiuti è sicuramente un modo importante per ridurre le dimensioni del problema, ma deve essere fatta salvaguardando i vantaggi socio-economici e di benessere complessivo che un esteso impiego di beni di consumo comporta. Per diverse ragioni il **riuso** è difficilmente praticabile per la grande maggioranza degli articoli in plastica. Il **recupero di materia** da rifiuti consente di risparmiare materie prime, ridurre emissioni, risparmiare energia, ridurre i costi; è quindi sicuramente da privilegiare rispetto ad altri trattamenti dei rifiuti, ma questo tipo di riciclo non è sempre possibile per problemi legati alla difficoltà della raccolta, dei trattamenti necessari e alla natura mista dei materiali plastici anche se derivanti da flussi da raccolta differenziata.

In alternativa al riciclo, lo smaltimento delle plastiche presenti nei RSU può avvenire per combustione (di RSU o RDF o PDF) o per biodegradazione nel caso di compostaggio della frazione umida.

La combustione ha come vantaggi una gestione del processo relativamente più semplice ed economica e può consentire il recupero di energia termica, ma ha come controindicazioni un possibile aumento delle emissioni di microinquinanti (in particolare di NOx, SOx, ..), soprattutto quando anche la frazione umida sia avviata alla combustione. Il compostaggio consente invece un miglior smaltimento della frazione umida con recupero di compost, utilizzabile come amendante in agricoltura; la presenza di plastiche non biodegradabili nel flusso della frazione umida (oggi ca il 5%) può costituire un problema nella gestione del processo, in quanto richiede uno stadio aggiuntivo di separazione delle plastiche dal compost.

Come ultima alternativa rimane la discarica; mentre ci possono essere pareri discordanti in merito all'approccio più conveniente ad una gestione del flusso dei rifiuti alternativo alla discarica (non è detto che quello più conveniente sia necessariamente lo stesso in ogni situazione), c'è unanime consenso nel ritenere la discarica come l'ultima opzione, in particolare in paesi ad alta densità abitativa.

Il grande volume di plastiche utilizzate è visto come un problema anche in relazione al consumo di risorse fossili non rinnovabili (in particolare petrolio) e alla emissione di gas serra ad esso connesso (greenhouse gases, GHG).

Uno dei possibili contributi alla soluzione dei problemi sopraelencati, compatibile con i benefici socio-economici derivanti dalla diffusione di beni di consumo che utilizzano materie plastiche, è la sostituzione delle plastiche di origine petrolchimica (oil-based plastics) con plastiche derivanti da fonti vegetali rinnovabili (bio-based plastics), possibilmente biodegradabili.



Infatti, la generazione di GHG, ed in particolare l'emissione di CO<sub>2</sub>, associata all'uso delle materie plastiche tradizionali, è prevalentemente determinata dalla quantità di petrolio utilizzata per produrle (che si assume diventi CO<sub>2</sub> a fine vita), essendo quella associata alla loro lavorazione e al loro trasporto di entità secondaria. Da questo punto di vista materie plastiche derivate da fonti vegetali rinnovabili appaiono più vantaggiose in quanto la CO<sub>2</sub> generata nel ciclo di vita è completamente o in larga parte compensata da quella assorbita dalla pianta durante la crescita. Se poi le plastiche potessero essere prodotte utilizzando gli scarti vegetali e/o la frazione umida dei RSU, si otterrebbe come grande ulteriore vantaggio la diminuzione dei volumi di frazione umida da smaltire.

Un ulteriore vantaggio può derivare, per alcune settori merceologici, dall'impiego di plastiche biodegradabili. Infatti, nel caso di plastiche aggredibili dai batteri presenti nell'ambiente (terreni ed acque di varia natura), si ridurrebbe l'inquinamento 'visivo' di mari, laghi, fiumi e relative coste, e si renderebbe più semplice la gestione dei processi di compostaggio, eliminando la necessità di rimozione dei frammenti di plastica non biodegradabile.

In questa ottica è evidente che le bioplastiche possono costituire una soluzione a molti dei problemi sopraelencati, riducendo le emissioni di GHG, l'inquinamento 'visivo', l'impiego di risorse non rinnovabili, il volume dei rifiuti, ecc. . Anche se nel 2007 le materie plastiche definibili in modo generico bioplastiche costituivano solo l'1% della produzione complessiva di materie plastiche, i potenziali vantaggi ambientali che possono derivare dal loro uso ha fatto sì che l'interesse per questi materiali sia cresciuto esponenzialmente negli ultimi anni. Oggi si stima che dal 2012 al 2017 il volume di bioplastiche crescerà da ca 1400 a oltre 6000 ktonn (incremento maggiore del 400% !!) [fonte [en.european-bioplastics.org](http://en.european-bioplastics.org)].

#### **4. Bioplastiche: plastiche da fonti rinnovabili e plastiche biodegradabili**

Il termine bioplastiche/biopolimeri si usa spesso per indicare plastiche biodegradabili o derivate da fonti biologiche rinnovabili o che presentano contemporaneamente entrambe queste caratteristiche. Quindi questa definizione può essere a volte ambigua in quanto non definisce in modo univoco le caratteristiche di una specifica plastica. Infatti, esistono plastiche biodegradabili derivate da petrolio, così come esistono plastiche derivate completamente o in parte da fonti non-fossili che non sono biodegradabili. In altre parole, il termine bioplastica/biopolimero si può utilizzare per contraddistinguere plastiche che nel loro ciclo di vita interagiscono in qualche modo col mondo biologico, ma con la consapevolezza che il suo significato non definisce in modo univoco le caratteristiche della plastica stessa.

Come già accennato nel paragrafo 2, un modo meno ambiguo per classificare i materiali plastici in relazione alla loro interazione col mondo biologico è quello di raggrupparli sulla base di



alcune precise caratteristiche; ad esempio, considerando esclusivamente il loro comportamento rispetto alla biodegradazione batterica, si possono distinguere i polimeri biodegradabili da quelli non biodegradabili.

Appartengono alla classe dei polimeri biodegradabili polimeri naturali, come poliidrossialcanoati (PHA), cellulosa, amido, proteine, ecc., ma anche polimeri sintetici di origine petrolchimica, come policaprolattone e alcuni poliesteri alifatici. Va tuttavia ricordato che la biodegradabilità di un certo materiale dipende dal modo e dalle condizioni in cui viene misurata (in particolare tipo di batteri presenti, temperatura, umidità, concentrazione di ossigeno, spessore del manufatto,...); uno stesso polimero potrebbe essere considerato biodegradabile in certe condizioni, ma non biodegradabile in altre condizioni (ad es. compostaggio industriale o terreno o ambiente marino). Inoltre, la percentuale di plastica degradabile potrebbe essere totale, ma anche limitata ad una piccola percentuale della plastica stessa. Per ridurre i possibili equivoci sono state sviluppate normative che definiscono i criteri sulla base dei quali un polimero può essere considerato biodegradabile (EN 13432 e ASTM D6400-04, D7081-05, D6868-03, D5511, D5526). Tali normative prevedono diversi metodi di valutazione della biodegradabilità per cui un materiale potrebbe essere considerato biodegradabile se si considera una certa normativa, e risultare non biodegradabile rispetto ad un altro tipo di normativa.

In un'ottica di sostenibilità ambientale, l'utilizzo di fonti rinnovabili o fossili può essere considerato come base di riferimento per un altro tipo di classificazione delle materie plastiche, distinguendo i polimeri da fonti rinnovabili (bio-based polymers) da quelli da fonti non rinnovabili (fossil-based polymers)

Rientrano nella classe dei polimeri da fonti rinnovabili polimeri biodegradabili come PHA, PLA, polimeri a base di amido, ma anche polimeri non biodegradabili (durable) come PA11, PET, poliesteri alifatici aromatici, poliuretani, ed anche HDPE ottenuto da etanolo (se quest'ultimo è derivato da fermentazione di biomasse), che possiede esattamente le stesse caratteristiche del HDPE derivato da petrolio. Mentre non rientrano nella classe dei polimeri da fonti rinnovabili polimeri sintetici biodegradabili come PCL e alcuni poliesteri alifatici (PES e PBS). Naturalmente possono esistere polimeri, copolimeri e miscele polimeriche in cui la percentuale di materia derivata da fonti rinnovabili è minore del 100%; per questo si dovrebbe indicare per ogni tipo di plastica la percentuale di materiale derivante da fonti rinnovabili.

Esiste quindi il problema, etico e legale, di distinguere polimeri di uguale struttura molecolare e proprietà, ma ottenuti da fonti rinnovabili o da fonti fossili. A tale scopo è disponibile una normativa basata sulla misura della concentrazione di carbonio 14 ( $^{14}\text{C}$ ) che consente di distinguere polimeri derivanti da fonti rinnovabili da quelli equivalenti, ma di origine fossile (ASTM D6866).



Anche se in termini di natura macromolecolare le bioplastiche sono del tutto simili a quelle di origine petrolchimica, la diversa natura chimica determina per alcune di queste caratteristiche che le rendono difficilmente utilizzabili per la produzione di manufatti. E' ad esempio il caso di proteine e cellulosa che a causa dell'alta viscosità allo stato fuso, della scarsa resistenza alle elevate temperature (che rende difficile la lavorazione con le stesse tecnologie utilizzate per i polimeri sintetici) e dell'elevata affinità per l'acqua (che determina una modifica inaccettabile di alcune proprietà del materiale a contatto con acqua) non possono essere generalmente utilizzate per la produzione di manufatti.

Altre bioplastiche invece possiedono un insieme di proprietà quali flessibilità, resistenza, trasparenza, massima temperatura d'uso, durabilità, possibilità di colorazione e sovrastampaggio, proprietà barriera ai gas, proprietà termiche ed elettriche, lavorabilità, ecc., che possono essere considerate oggi del tutto simili a quelle di plastiche derivate da fonti fossili. Tre queste PLA, PHA e plastiche a base amido, si distinguono per possedere le caratteristiche sopra indicate ed essere, al tempo stesso, biodegradabili e 100% bio-based.

L'interesse per tali materiali è legato alla loro capacità di andare incontro alle esigenze di sostenibilità ambientale, contribuendo a ridurre il consumo di fonti fossili e l'emissione di CO<sub>2</sub> e microinquinanti in atmosfera, e alla loro biodegradabilità.

In particolare, le caratteristiche di biodegradabilità le rendono particolarmente interessanti per prodotti monouso e di vita breve, e in tutte quelle applicazioni che utilizzano plastiche per fare oggetti che hanno alta probabilità di confluire in un flusso di rifiuti ricco di frazione organica (imballaggi, stoviglieria, vasi per aziende vivaistiche, ecc.) e destinato al compostaggio. Anche per oggetti che abbiano elevata probabilità di finire dispersi nell'ambiente (mare, fiumi, laghi, terreno) la biodegradabilità costituisce una proprietà importante, anche se non è detto che tutti i materiali sopra indicati subiscano biodegradazione veloce in tali ambienti.

Va infine sottolineato che, nella prospettiva di un progressivo esaurimento delle fonti fossili, ottenere plastiche da fonti rinnovabili sarà probabilmente la via principale per sostenere la enorme produzione di materie plastiche destinata alla produzione della miriade di manufatti in cui trovano applicazione.

## **5. La famiglia dei PHA: caratteristiche ed esempi applicativi**

Col termine poliidrossialcanoati (PHA) si intende una famiglia di prodotti che comprende il poliidrossibutirrato (PHB) e copolimeri dell'idrossibutirrato con altri idrossialcanoati, ed in particolare con idrossivalerato (HV).

L'aspetto che rende particolarmente interessante questa famiglia di materiali è che scegliendo opportunamente ceppi batterici e loro alimento, si possono ottenere materiali diversi, con una ampia varietà di strutture molecolari e quindi di proprietà.



Sulla base delle classificazioni precedentemente riportate tali materiali si possono definire naturali, termoplastici e semicristallini, con una massima temperatura d'uso di 130-140°C per PHB e un poco inferiore (ca. 100-120°C) per i copolimeri. Quest'ultima caratteristica si riduce a ca 60°C per i PLA di uso più comune e quindi, dal confronto, emerge chiaramente che il potenziale campo di utilizzo dei PHA sia molto più ampio rispetto a quello del PLA. In termini di rigidità, altra proprietà fondamentale in ottica applicativa, i PHA possiedono moduli di elasticità dell'ordine di 0,5-1,5 GPa, simili a quelli delle poliolefine e di altre bioplastiche.

I PHA che Bio-On produce rientrano a pieno titolo nella categoria delle bioplastiche ed in particolare sono da considerarsi sia bio-based al 100% (non includono nella struttura molecolare unità monomeriche di origine fossile e nelle diverse formulazioni si utilizzano additivi bio-based). Sono inoltre completamente biodegradabili senza la formazione di prodotti tossici nella maggioranza dei contesti ambientali, sia aerobici sia anaerobici, in cui tali plastiche possono venire a trovarsi a fine vita. Molti microorganismi capaci di biodegradare i PHA sono stati infatti isolati dal suolo, da fanghi di varia natura, dalle acque di mari e laghi; al contrario per altre bioplastiche, come ad esempio il PLA, i microorganismi capaci di degradarle non sono altrettanto diffusi, cosicchè risultano meno suscettibile di attacco nel suolo e nelle acque di mari e laghi.

Va inoltre sottolineato che a differenza del PLA, che è ottenute con un processo di polimerizzazione industriale del monomero derivato da fonti rinnovabili vegetali, i PHA sono ottenuti direttamente come materiali polimerici dai processi fermentativi di biomasse, consentendo quindi di risparmiare l'energia necessaria alla successiva polimerizzazione dei monomeri.

Le plastiche PHA sono quindi a tutti gli effetti tra quelle a minor impatto ambientale pur avendo, in termini di proprietà termiche e meccaniche, caratteristiche paragonabili alle poliolefine che, come detto in precedenza, sono, per il complesso delle loro caratteristiche, i polimeri di origine petrolchimica di gran lunga più utilizzati.

La possibilità di ottenere materie plastiche appartenenti alla famiglia dei PHA da fonti vegetali è nota da molti decenni al mondo scientifico, anche se materiali di questo tipo furono prodotti per la prima volta a livello industriale da ICI solo negli anni 1980-90. Tuttavia, per il prezzo troppo elevato e la non facile lavorabilità il tentativo di introdurli sul mercato non ebbe all'epoca grande successo.

Oggi, lo scenario appare completamente cambiato in quanto il processo industriale sviluppato da Bio-On per la produzione di PHA si caratterizza, rispetto ad altri processi industriali di produzione di PHA, per il fatto di poter alimentare la fermentazione batterica con biomasse di basso costo, che includono prodotti vegetali di scarto, di utilizzare condizioni blande e di non prevedere l'uso di solventi organici in nessuna fase del processo. Tutto ciò rende il processo



Bio-On di basso impatto ambientale ed economicamente molto più conveniente rispetto ai processi proposti in precedenza per il PHA o per quelli utilizzati per altre plastiche bio-based. Tutto ciò contribuisce a rimuovere uno dei principali ostacoli allo sviluppo e alla commercializzazione di questa famiglia di materiali, aprendo straordinarie prospettive di crescita per i prossimi decenni.

La possibilità di ottenere oggi PHA con strutture molecolari controllate e la relativa facilità con cui questi materiali possono essere additivati con svariati tipi di additivi (quasi esclusivamente derivati da biomasse) consentono di rendere questi materiali adatti ad essere facilmente lavorati con le tradizionali tecniche di lavorazione impiegate per i materiali termoplastici di origine fossile (stampaggio ad iniezione, estrusione, estrusione-soffiatura, termoformatura, ecc..), fornendo quindi una concreta alternativa a materie plastiche tradizionali quali poliolefine che, come ricordato in precedenza, costituiscono oltre il 65 % di tutte le materie plastiche oggi utilizzate.

A testimonianza di quanto detto, di seguito sono riportati esempi concreti di applicazioni dei materiali prodotti da Bio-On a dimostrare che l'approccio combinato di modulazione delle strutture molecolari in fase di fermentazione batterica ed un'opportuna formulazione della materia plastica con diversi tipi di additivi ai fini della trasformazione industriale, ha permesso la realizzazione di svariati tipi di manufatti, ottenuti mediante tecnologie di trasformazione convenzionali tipiche dei materiali termoplastici di origine petrolchimica.

Infatti, un aspetto estremamente importante che riguarda l'effettiva possibilità di ampio sfruttamento commerciale dei PHA, e che in passato è stato uno degli ostacoli alla sua diffusione, è la metodica di lavorazione e la facilità di formatura dei pezzi. Il maggior vantaggio lo si trae ovviamente qualora si renda possibile l'utilizzo delle apparecchiature già diffuse a livello industriale per la lavorazione delle materie plastiche tradizionali di origine fossile, a seguito di opportuna taratura delle macchine in funzione delle temperature tipiche di lavorazione dei PHA e della loro viscosità in fuso.

Gli studi effettuati finora hanno preso in considerazione applicazioni molto diverse fra loro, che spaziano dalla realizzazione di complementi d'arredo con elevata valenza estetica (lampade da tavolo, sedute da giardino, ...), a pezzi ingegneristici di componentistica meccanica (carter, chiusure, ...). Di seguito si riportano alcuni esempi di oggetti ottenuti mediante stampaggio ad iniezione, tutti realizzati sfruttando presse ad iniezione convenzionali, comunemente utilizzate per la trasformazione di plastiche tradizionali, in cui sono state ottimizzate solamente le condizioni sperimentali di stampaggio (tempi di ciclo, temperature, etc.).

Gli esempi sono solo alcuni tra i tanti possibili, scelti con lo scopo di evidenziare che con i PHA si possono realizzare componenti di grandi dimensioni (sedute per giardino), pezzi relativamente grandi e di geometria complessa (basamento di motosega), parti con inserti metallici di grandi e piccole dimensioni (carter e basamento di motosega, pomelli con inserto

filettato), pezzi di piccole dimensioni ma di elevata precisione (chiusure a scatto e cover per telefoni cellulari), oggetti che richiedono elevatissima qualità estetica (lampada Flos, cover telefonici). Va infine ricordato che la colorazione dei pezzi prodotti da PHA non costituisce un problema rispetto alla colorazione di plastiche tradizionali.

Sedute da giardino stampate ad iniezione



Carter di motosega, con inserto metallico co-stampato pronto per l'assemblaggio del manufatto finito.



Basamento di motosega, con alcuni inserti metallici costampati ed altri aggiunti post-stampaggio per l'assemblaggio su manufatto finito.



Pomelli e chiusure ottenuti dal sovrastampaggio di plastica PHAs su inserti metallici filettati.



Chiusure a scatto.



Cover per telefonia mobile.



Lampada da tavolo di design.



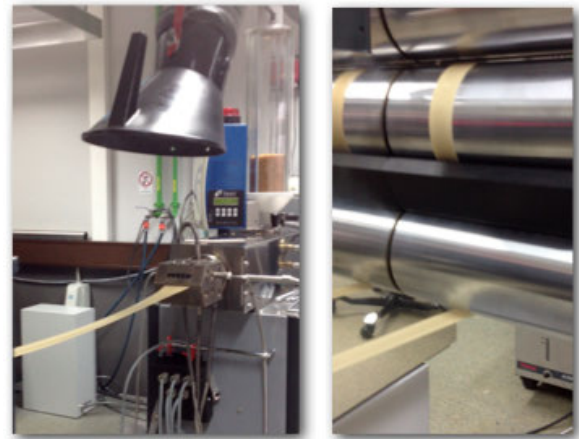
Oltre agli esempi sopra riportati relativi a oggetti stampati utilizzando presse ad iniezione, i PHA sono trasformabili in film mediante le tecnologia di estrusione-soffiatura (film in bolla),

Trasformazione di PHA in film con la tecnologia di estrusione-soffiatura (film in bolla).



o mediante calandratura o estrusione con testa piana.

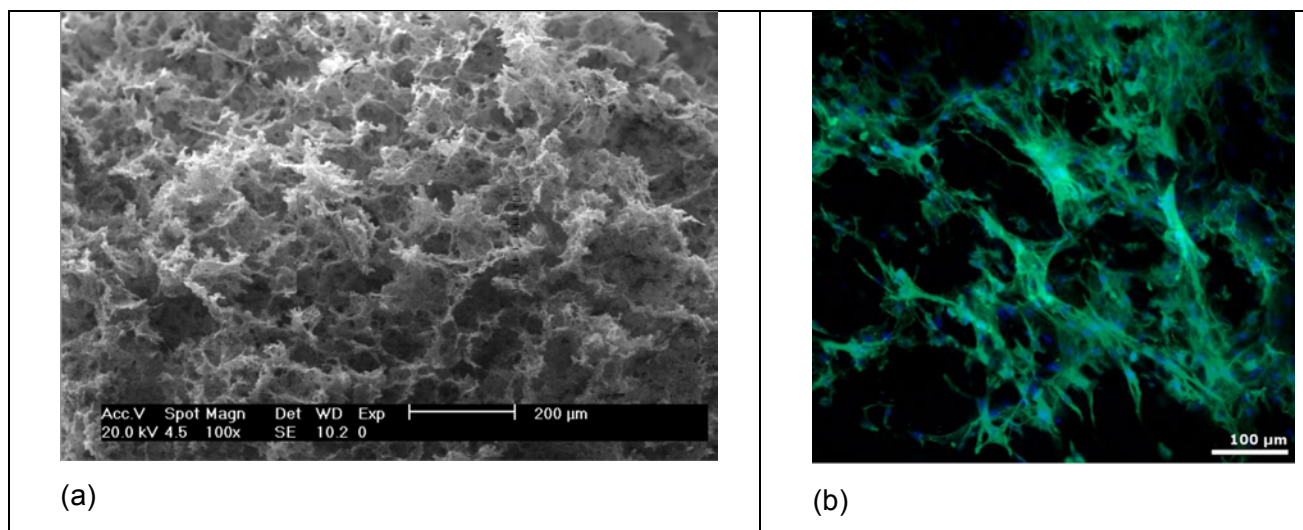
Produzione di film in PHA mediante estrusione (a sinistra) o calandratura (a destra).



Parallelamente alla verifica della lavorabilità su scala industriale dei PHA per la realizzazione di manufatti in plastica, diverse ricerche scientifiche svolte su scala di laboratorio hanno messo in evidenza la possibilità di sfruttare queste bioplastiche anche per la preparazione di materiali avanzati per applicazioni in settori specifici, quali ad esempio il biomedicale e l'elettronica.

La combinazione dei PHAs con additivi che promuovono l'adesione e la proliferazione cellulare, ne consente l'utilizzo per la realizzazione di substrati (detti scaffolds) per l'ingegneria tissutale, ovvero per l'accrescimento in-vitro di tessuti cellulari utili alla rigenerazione ed alla sostituzione di parti biologiche deteriorate, come ad esempio le fratture sovracritiche dell'osso. Tale possibilità è resa possibile dalla completa biocompatibilità dei PHAs con gli ambienti biologici e cellulari, che permette l'accrescimento e la proliferazione di colture cellulari su substrati realizzati con queste bioplastiche. In figura è riportato un esempio di scaffold in PHA altamente poroso (a) su cui sono state accresciute cellule dell'osso (b), che attecchiscono e proliferano

rigenerando così in vitro un tessuto biologico pienamente funzionale. La biocompatibilità dei PHAs ne consente quindi l'applicazione ai più svariati settori dell'industria biomedicale.



Infine, la possibilità di incorporare circuiti elettrici ed elettronici in substrati plastici, per ottenere così un'elettronica flessibile, leggera e facilmente integrabile, ha importanti ricadute applicative in settori all'avanguardia come la sensoristica, il biomedicale stesso ed il fotovoltaico.

Tutti settori in rapida e globale espansione, alla costante ricerca di materiali innovativi che presentino nuove caratteristiche, funzionalità aggiuntive e impatto ambientale ridotto, per ridurre il costo energetico globale durante le fasi produttive, ed agevolare la gestione a fine vita del prodotto, spesso programmato per una rapida obsolescenza.

In questo ambito le ultime tendenze della ricerca si sono spinte verso i bionanocompositi per l'elettronica transitoria, ovvero materiali ibridi avanzati che integrano nanoparticelle in grado di trasferire segnali elettrici o elettronici in supporti plastici biodegradabili e/o provenienti da fonte biogenica rinnovabile, capaci di funzionare per un certo tempo per poi subire una demolizione batterica che non lascia residui nocivi nell'ambiente.

In quest'ambito sono stati sviluppati bionanocompositi elettricamente conduttivi basati sui PHAs prodotti da Bio-On, in cui sono integrate nanoparticelle di carbonio, come i nanotubi ed il grafene, rendendoli idonei allo sviluppo di un'elettronica flessibile e, soprattutto, sostenibile.

## **Conclusioni**

Come dimostrato dai maggiori tassi di crescita delle materie plastiche rispetto ad altri materiali (metalli, ceramici, legno,...), riscontrati in passato, ma previsti anche per i prossimi decenni, la scelta delle materie plastiche per la realizzazione di manufatti risulta spesso la soluzione migliore da un punto di vista socio-economico. Tuttavia l'impiego di risorse fossili per la produzione delle plastiche più diffuse e l'impatto ambientale determinato dalla larga diffusione delle materie plastiche e da alcune loro caratteristiche (basso costo e leggerezza, in particolare) mettono oggi in discussione la scelta tra le diverse tipologie di materiali plastici, ed in particolare

tra polimeri da risorse fossili e da fonti rinnovabili, tra polimeri non-biodegradabili e polimeri biodegradabili.

Lo sviluppo dei processi di produzione di materie plastiche da fonti rinnovabili e della loro formulazione con additivi diversi capaci di migliorarne le caratteristiche funzionali e di lavorabilità aprono oggi scenari nuovi e stimolanti, in grado di andare incontro alle indicazioni 'politiche' miranti ad uno sviluppo sostenibile in generale e alla gestione integrata dei flussi dei rifiuti (domestici, urbani, industriali) in particolare.

La valutazione per una scelta ottimale ha oggi ancora elevati contenuti di soggettività, in particolare in relazione al contesto socio-economico di riferimento locale, regionale, globale, ma lo sviluppo di processi fermentativi economici e a basso impatto ambientale ottenuto da Bio-On per la produzione di bioplastiche PHA sembra poter imprimere una svolta decisiva.

La famiglia dei PHA prodotti da Bio-On, che per caratteristiche fisico-meccaniche si può comparare alla grande famiglia delle poliolefine (le plastiche di gran lunga più utilizzate, oltre il 65% del totale delle plastiche) sembra poter soddisfare la maggior parte delle richieste applicative oggi coperte tipicamente dalle poliolefine, aggiungendo come valore aggiunto tutt'altro che trascurabile un impatto ambientale di gran lunga inferiore derivante dalla natura 100% bio-based e dalla biodegradabilità. Infatti, l'impiego dei PHA in sostituzione di plastiche tradizionali potrebbe ridurre il consumo di risorse fossili, abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub> e di microinquinantie (con conseguente miglior controllo del clima), semplificare la gestione del flusso dei rifiuti (facilitando in particolare lo smaltimento della frazione umida per compostaggio o utilizzando la stessa frazione umida come alimentazione del processo fermentativo) e ridurre drasticamente l'inquinamento 'visivo' di terreni, mari, laghi, fiumi e relative coste (in conseguenza della completa biodegradabilità dei PHA). La dimostrata stampabilità dei PHA rende questa prospettiva più che concreta. Infine, va considerato che in un'ottica di lungo termine, lo sviluppo di questi materiali è imprescindibile per garantire la possibilità di sostenere il livello di benessere socio-economico raggiunto anche nella prospettiva inevitabile di una progressiva riduzione della disponibilità di petrolio come fonte di materie plastiche.

#### **Lista degli acronimi/formule utilizzati**

CO<sub>2</sub> – diossido di carbonio (o anidride carbonica)

GHG – greenhouse gases, gas che determinano l'effetto serra

HDPE – polietilene ad alta densità

HV – idrossivalerato

NO<sub>x</sub> – ossidi di azoto vari

PA11 – poliammide 11

PCL - policaprolattone

PDF – plastic derived fuel , frazione di plastica derivata dalla gestione dei rifiuti e destinata alla combustione



PBS - polibutilensuccinato

PES - polietilensuccinato

PET – polietilentereftalato

PHA – poliidrossialcanoati

PHB – poliidrossibutirrato

P(HB-co-HV) – copolimeri poliidrossibutirrato/valerato

PIL – prodotto interno lordo

PLA – poliacidolattico o polilattide

PVC – policloruro di vinile

RDF – residue derived fuel, frazione dei rifiuti destinata alla combustione

RSU – rifiuti solidi urbani

Bologna, 12.06.2014

Documento elaborato per Bio-On  
dal  
Prof. Francesco Pilati

A handwritten signature in black ink, reading "Francesco Pilati". The signature is written in a cursive style with a large initial 'F'.