

Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti in Napoli

e

Accademia Pontaniana

12 novembre 2020

Materie Plastiche e Economia Circolare

Gaetano Guerra

*Università di Salerno, Dipartimento di Chimica e Biologia, Via Giovanni Paolo II 132, 84084 Fisciano (SA),
gguerra@unisa.it*

Sommario: Il contributo è soprattutto basato sul rapporto della European Academies Science Advisory Council (EASAC) su “Plastics & Circular Economy”.¹ La relazione presenta inizialmente dati sulla produzione di materie plastiche a livello globale ed europeo, considerando le più importanti classi di polimeri, nonché una serie di considerazioni su ciò che può determinarne la riciclabilità. Enfasi è soprattutto data ai suggerimenti del rapporto EASAC per migliorare la fattibilità tecnica ed economica del riciclo, partendo dal concetto di progettazione finalizzata al riciclo (‘design for recycling’). In particolare, sono evidenziati i suggerimenti più rilevanti: limitazione nell’uso degli imballaggi multi-materiale; limitazione nell’uso di colori scuri, che rendono difficile la separazione mediante tecniche spettroscopiche; limitazione nelle tipologie di polimeri da usare per specifiche applicazioni; utilizzo di polimeri puri (evitando “blend” e prodotti speciali, per le applicazioni di largo volume). Viene peraltro sottolineato che per una vera economia circolare, è molto rilevante che il riciclo avvenga nella stessa applicazione che ha generato il rifiuto.

Chimica ed Economia Circolare

Gli esperti di scienze ambientali ma anche gli esperti di scienze economiche, soprattutto nell'ultimo decennio, hanno posto all'attenzione del grande pubblico e del mondo politico l'esigenza di una progressiva transizione dalla tradizionale Economia Lineare verso una Economia Circolare.

L'economia lineare, che prevede prelievo di materie prime dalla Terra, produzione di manufatti ed abbandono di tali manufatti dopo l'uso, è stata certamente sostenibile per millenni, finché il numero degli essere umani e la loro produzione erano limitati. La popolazione umana attuale, tuttora in forte crescita, e ritmi di consumo pro-capite, assolutamente sconosciuti solo poche generazioni fa', rendono tale modello non più sostenibile.

E' attualmente indispensabile che, almeno per i manufatti caratterizzati da elevati volumi di produzione, si operi secondo i dettami della cosiddetta Economia Circolare. Come evidenziato in Figura 1, l'economia circolare prevede che le materie prime siano prevalentemente (ed idealmente "in toto") ottenute da riciclo di oggetti post-consumo. Lo schema di Figura 1 mette peraltro in evidenza la necessità di una progettazione volta al riciclo, di un consumo rallentato da riutilizzo e da riparazioni, e di una efficiente raccolta post-consumo.



Figura 1. Schema di modello di Economia Circolare

Questo contributo inizia con la presentazione di un punto di vista della Chimica sull'Economia Circolare. Il discorso parte da quello che è uno dei monumenti all'ingegno dell'uomo, la Tavola Periodica degli Elementi. Infatti, tali Elementi costituiscono ogni materia prima come pure ogni manufatto ma anche ogni rifiuto.

Credo sia rilevante sostituire per un momento alla Tavola Periodica degli Elementi, che tutti abbiamo studiato almeno al Liceo e che ha una quantità elevata di informazioni tecniche per gli addetti ai lavori, con una contenente informazioni molto

più limitate ma di immediata comprensione per tutti. Tale Tavola Periodica deformata, preparata in occasione dell'Anno Internazionale della Tavola Periodica degli Elementi Chimici (anno 2019) sotto l'egida dell'UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization), è presentata in Figura 2. Le caselle in cui sono inquadrate i ben noti simboli degli Elementi non sono tutte uguali ma hanno una superficie proporzionale alla loro disponibilità all'interno di tutti i composti disponibili sulla Terra. C'è peraltro un codice di colori secondo il quale in giallo, arancione e rosso sono indicati elementi la cui disponibilità è limitata (ed a rischio in futuro), a maggior rischio per il crescente utilizzo umano e già a rischio entro cent'anni, rispettivamente. Non mancherà di stupirvi l'osservazione che elementi a cui tutti noi sono abituati quali lo zinco e l'argento sono tra quelli già a rischio entro cent'anni.

Una seconda informazione sulla Tavola Periodica deformata di Figura 2 è data dalla presenza in molte delle caselle di un rettangolo verticale, che indica la presenza di tali elementi in un telefono cellulare. E' certamente un modo molto efficace di comunicare la grande rilevanza di tanti elementi, il cui nome è sconosciuto a larga parte dei cittadini, anche di elevato livello culturale.

Quanto sopra descritto fa ulteriormente comprendere che il modello dell'economia lineare deve essere progressivamente e celermente abbandonato per un modello di economia circolare, per ciascuno dei manufatti umani di largo uso.

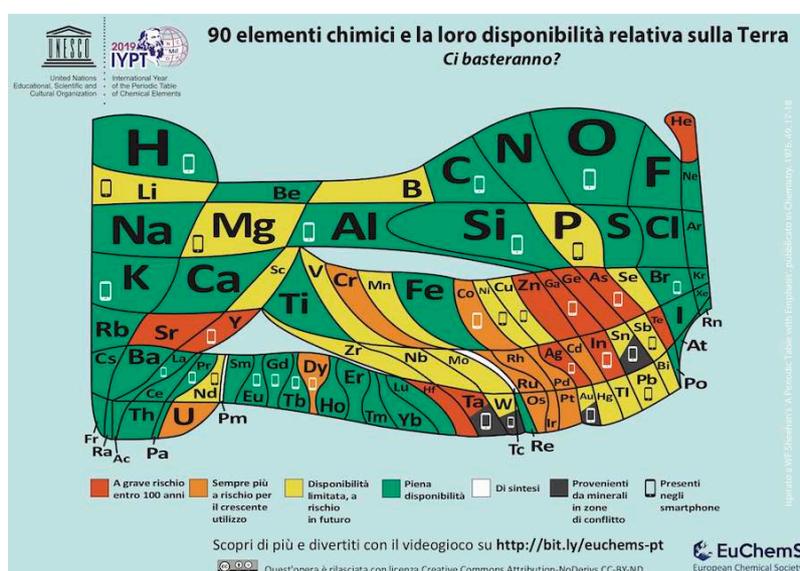


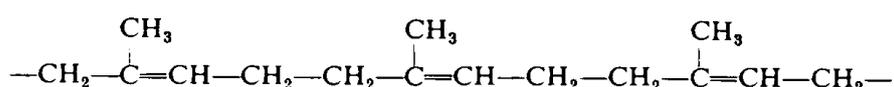
Figura 2. Tavola Periodica degli Elementi Chimici con enfasi sulla loro disponibilità relativa sulla Terra

Il presente contributo concentra l'attenzione sulla rilevanza dell'Economia Circolare sui materiali polimerici artificiali e sintetici che hanno iniziato ad entrare nella storia umana alla metà del diciannovesimo secolo e prepotentemente con un largo consumo, a partire dalla metà del ventesimo secolo. Nel seguente paragrafo saranno dati alcuni cenni sulla storia dei materiali polimerici² mentre in quello successivo saranno date informazioni sull'attuale produzione industriale di tali materiali.³

Storia della scienza e dello sviluppo industriale dei materiali polimerici

I polimeri sono tra le prime sostanze con cui l'uomo è venuto a contatto fin dai primordi della sua storia; basti pensare che il legno, la lana, la seta, il cotone e il cuoio sono essenzialmente costituiti da sostanze polimeriche. La vera natura di queste sostanze è stata chiarita tuttavia solo nel Novecento, ed accettata dalla comunità scientifica solo intorno agli anni Trenta.

I primi studi sui polimeri risalgono alla seconda metà dell'Ottocento, ad opera soprattutto di studiosi delle sostanze naturali, che si occupavano, tra l'altro, della struttura chimica e del comportamento chimico-fisico della gomma, della cellulosa, delle proteine. I chimici di allora non presero però in considerazione l'esistenza di grandi molecole e considerarono le sostanze polimeriche come costituite da molecole a basso peso molecolare, in genere cicliche, unite in aggregati da forze secondarie di natura non ben definita. Il prof. Hermann Staudinger (Premio Nobel per la Chimica nel 1953) nel 1920 contestò le teorie correnti sulla natura delle sostanze polimeriche, come composti di associazione tenuti insieme da valenze secondarie, e propose per i polimeri sintetici formule a catena oggi accettate, come di seguito esemplificato dalla formula della gomma naturale:



Nell'Ottocento e nei primi decenni del Novecento, prima della comprensione scientifica della natura macromolecolare dei polimeri, un'industria dei polimeri già produceva materiali polimerici con proprietà utili per l'uomo.

I primi prodotti dell'industria dei materiali polimerici furono *polimeri artificiali*, cioè ottenuti per modificazione chimica di macromolecole sintetizzate da organismi viventi (soprattutto gomma naturale e cellulosa).

La gomma naturale (caucciù), che gli Indiani del bacino delle Amazzoni ricavano dal lattice che sgorga da incisioni praticate sul tronco della pianta di Hevea, veniva usata dagli Indiani stessi per ottenerne degli stivali rudimentali. Il

lattice, inizialmente liquido viscoso, veniva formato direttamente sul piede e nel tempo trasformato in materiale gommoso, sotto l'azione dell'aria. L'ossigeno dell'aria trasforma le macromolecole di poliisoprene 1-4 cis, di cui è costituita la gomma naturale, in una struttura reticolata, cioè forma dei legami chimici covalenti tra macromolecole. Il trattamento chimico (processo di vulcanizzazione) della gomma fu inventato da Goodyear nel 1844. Precedentemente, la gomma era stata messa in commercio senza nessun previo trattamento, ed usata (ed è tuttora usata) per cancellare tratti segnati su un foglio di carta da una matita. Verso la fine dell'Ottocento, la gomma vulcanizzata cominciò ad essere usata per la costruzione di pneumatici per le automobili e da quel momento la produzione industriale di manufatti in gomma, seguendo il destino dell'automobile, aumentò costantemente.

Fin dalla seconda metà del XIX secolo sono stati scoperti dei trattamenti chimici che consentono la trasformazione della cellulosa, cioè di un polimero naturale ricavabile dal legno e non lavorabile, in un materiale facilmente lavorabile con macchine utensili. In particolare, il trattamento con acido nitrico della cellulosa portò alla scoperta della nitrocellulosa, un materiale che, benché altamente infiammabile, venne usato, plastificato con canfora, per fare la celluloid; altri trattamenti, studiati tra la fine dell'Ottocento e i primi del Novecento, portarono allo sviluppo di fibre artificiali, ottenibili per estrusione, che consistevano in cellulosa (rigenerata dopo l'estrusione) o in derivati chimici della cellulosa (per esempio, l'acetato di cellulosa).

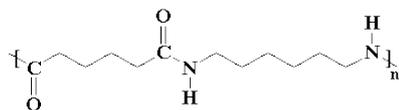
Agli inizi del XX secolo fu avviato un primo processo industriale per la produzione di un *polimero sintetico*, cioè di un polimero ottenuto per sintesi diretta da sostanze di bassa massa molecolare. Il brevetto per la preparazione della "Bakelite", un polimero termoindurente, fu dato a Baekeland nel 1907. La "Bakelite", oggi meglio noto col nome di resina fenolica, è il prodotto che si ottiene facendo reagire fenolo e formaldeide, che a seguito di riscaldamento in uno stampo, indurisce e mantiene permanentemente la forma che gli è stata data, perché dà luogo ad una struttura chimica reticolata.

Durante la seconda guerra mondiale, gli Americani persero la possibilità di rifornirsi di gomma naturale dalle Indie Orientali. In breve tempo, essi misero a punto la produzione di una gomma sintetica basata sulla copolimerizzazione di butadiene e stirene, attualmente indicata con la sigla SBR ("Styrene-Butadiene Rubber"). La gomma SBR è tuttora la gomma sintetica di più larga produzione industriale e viene utilizzata soprattutto negli pneumatici.

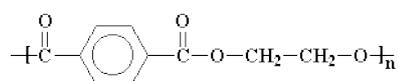
Alcuni materiali polimerici termoplastici sintetici, quali il polivinilcloruro ed il polistirene cominciarono ad essere prodotti industrialmente nel decennio 1930-1940. La produzione industriale di entrambi raggiunge una dimensione significativa già prima dello scoppio della seconda guerra mondiale. Ancora negli anni trenta, fu scoperto da ricercatori della ICI il modo di ottenere il polietilene a bassa densità, e ne

fu intrapreso lo sviluppo industriale.

Le prime fibre completamente sintetiche, caratterizzate da grande resistenza ed eccellenti prestazioni, furono prodotte negli USA dalla Du Pont a partire dalle ricerche condotte tra il 1927 e il 1935, dal prof. Wallace Carothers su una poliammide (un polimero caratterizzato dalla presenza di legami ammidici) denominata nylon:



ottenuta a partire da un diacido (acido adipico) e una diammina (esametildiammina) e su un poliestere, il polietilentereftalato (PET):



ottenuto a partire da un diacido (acido tereftalico) e un dialcool (glicole etilenico).

Polimeri sintetici caratterizzati da un ordine strutturale paragonabile a quello dei polimeri naturali furono ottenuti soltanto negli anni cinquanta, attraverso le scoperte di Ziegler e Natta (Premio Nobel per la Chimica nel 1963), che portarono all'ottenimento a bassa pressione di polimeri altamente cristallini dell'etilene (1953) e del propilene (1954), due olefine ottenibili molto economicamente e in grandissime quantità dal petrolio. In particolare, nei laboratori diretti dal prof. Giulio Natta, presso l'Istituto di Chimica Industriale del Politecnico di Milano, si pervenne alla scoperta della polimerizzazione del propilene a dare polimeri stereoregolari cristallini. I polimeri altamente cristallini, ottenuti nel 1954 da G. Natta e dalla sua scuola a partire dalle principali α -olefine, e che furono chiamati "isotattici", sono caratterizzati dalla presenza di lunghe sequenze di unità monomeriche aventi la stessa configurazione. Alla scoperta dei polimeri stereoregolari di α -olefine fece seguito la scoperta di numerosi altri polimeri stereoregolari. Nel caso dei polimeri dell'isoprene, ad esempio, fu possibile ottenere e caratterizzare strutturalmente polimeri a concatenamento 1-4 con il doppio legame sempre cis o sempre trans, come nei due polimeri naturali già conosciuti, la gomma naturale e la guttaperca. La catalisi stereospecifica di polimerizzazione aveva permesso quindi all'uomo di penetrare in un campo che si riteneva prima un dominio assoluto della natura. La scoperta dei polimeri stereoregolari ha prodotto e sta ancora producendo importanti conseguenze nel campo della Scienza Pura e Applicata. In questa sede, mi preme di sottolineare il determinante contributo dato alla caratterizzazione strutturale dei polimeri stereoregolari dal Prof. Paolo Corradini, docente dell'Università di Napoli per quasi tutta la sua carriera accademica, nonché membro dell'Accademia Pontaniana.

Produzione industriale attuale di materie plastiche

L'urgenza dell'esigenza di Economia Circolare nel settore dei materiali plastici può essere ben compresa solo considerando i dati relativi alla loro produzione. I dati qui riportati sono quelli disponibili sul sito di PlasticsEurope, l'associazione europea delle industrie manifatturiere delle materie plastiche.³

La produzione mondiale delle materie plastiche è stata nel 2019 di quasi 370 milioni di tonnellate. Mentre in passato la produzione era fortemente concentrata negli USA e nei Paesi europei, attualmente la situazione è completamente cambiata. Più di metà della produzione mondiale è in Asia, con oltre il 30% nella sola Cina. La frazione di produzione in Europa è attualmente ridotta al solo 16%.

Sono quantità gigantesche che attualmente corrispondono ad un consumo pro-capite per ciascun abitante della Terra non lontano da 40 kg/anno. E' necessario una svolta nel comportamento delle aziende produttrici e dei consumatori per pervenire ad elevate quantità di riciclo di tali materiali.

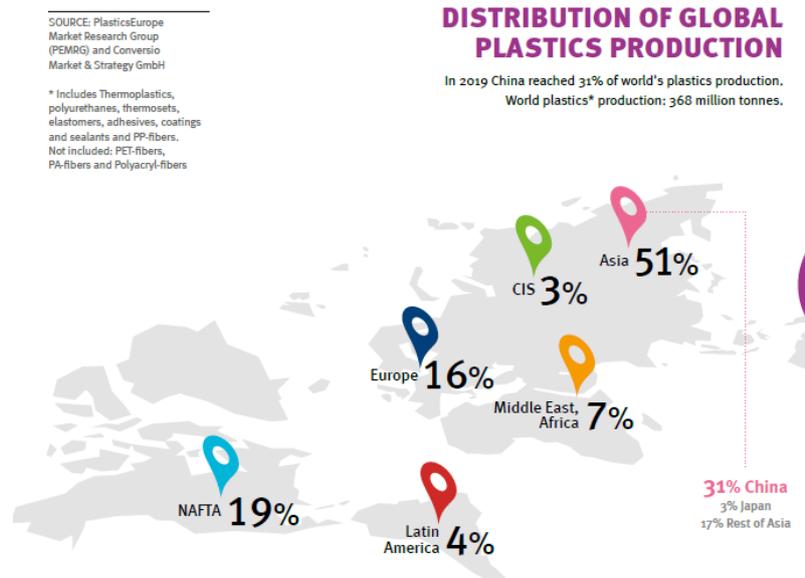


Figura 3. Distribuzione geografica della produzione globale delle materie plastiche.

Concentrando l'attenzione sull'industria delle materie plastiche europea, il consumo è di circa 50Mt/anno, che corrisponde però ad un consumo pro-capite decisamente più elevato (circa 110 Kg/anno). I dati di Figura 4 mettono peraltro in evidenza che l'industria delle materie plastiche italiana è seconda solo a quella tedesca (con una produzione di quasi 14 Mt). Tale dato può essere facilmente razionalizzato sulla base

della presenza di materie plastiche in tutti i settori produttivi e che quindi il consumo di materie plastiche dalle industrie è una sorta di misurazione indiretta della rilevanza generale delle industrie manifatturiere per ciascun Paese.

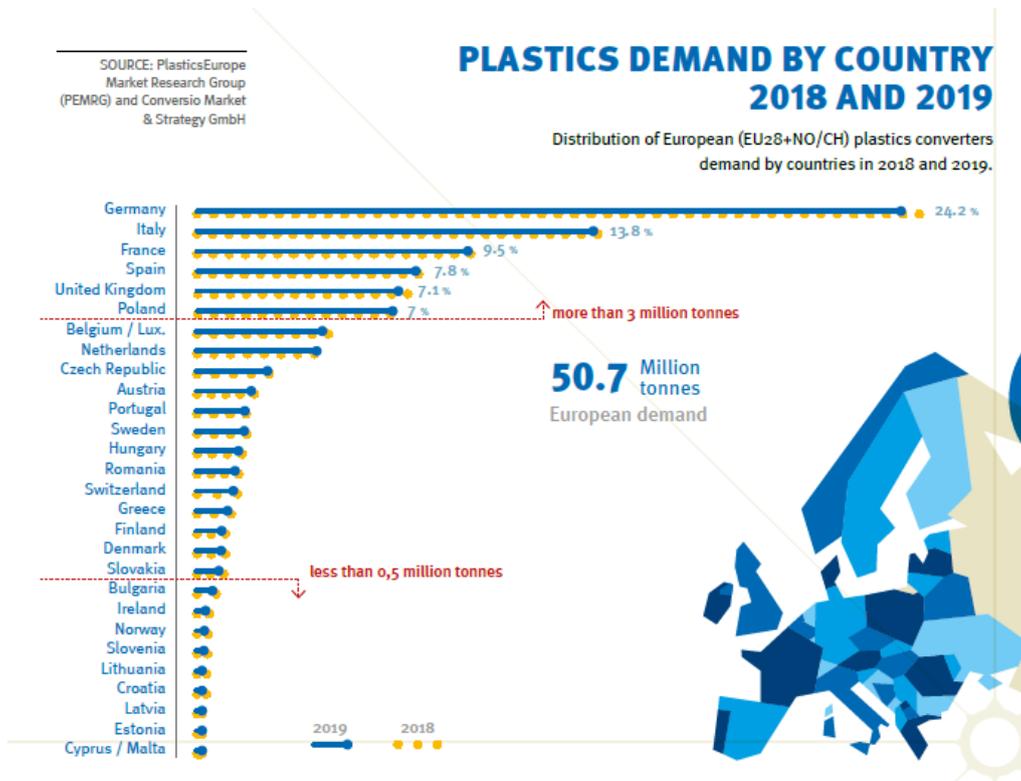


Figura 4. Consumo di materie plastiche nei vari Paesi Europei in anni recenti.

Differenti tipi di riciclo di polimeri

Prima di entrare nell'argomento tecnico del riciclo delle materie plastiche, occorre stabilire un glossario, viste le tante terminologie di uso comune, che tendono spesso a sovrapporsi.

Si preferisce usare il termine *ri-utilizzo* per indicare semplicemente un utilizzo di un manufatto dopo l'uso principale (per il quale è stato prodotto) in un uso differente di più lungo termine. Ciò ovviamente aumenta la vita del singolo oggetto ma non è affatto risolutivo dal punto di vista dell'economia circolare.

Per un corretto approccio circolare non è nemmeno sufficiente dare (come spesso si fa) una seconda vita al materiale. Anche tale approccio fornisce un beneficio solo marginale. L'economia circolare prevede infatti un numero elevato (in linea di

principio infinito) di vite successive per uno stesso materiale.

Esistono essenzialmente tre tipi di riciclo, quello meccanico in cui un processo di lavorazione (generalmente termo-meccanico) porta alla produzione di un nuovo oggetto da polimeri post-consumo. Esistono poi una serie di processi chimici di riciclo, spesso efficaci anche in termini energetici, che in futuro raggiungeranno in molti casi l'applicazione in ambito industriale, anche se a mio parere soprattutto (se non solo) per rifiuti ben selezionati.

Esiste infine la possibilità di un recupero energetico degli scarti delle materie plastiche. Tale possibilità non è la preferita ma ha degli evidenti elementi di saggezza. Infatti, grosso modo, solo 5-7 % della produzione del petrolio finisce in materie plastiche mentre quasi tutto il resto è bruciato per produrre energia. Visto che il calore di combustione delle materie plastiche è confrontabile con quello del petrolio da cui sono prodotte, tale soluzione è certamente accettabile in termini energetici, anche se non in termini di economia circolare.

In questo contributo parlerò prevalentemente di riciclo meccanico, che è quello già largamente utilizzato e per il quale è prevedibile una grande crescita nell'ipotesi di una progettazione delle materie plastiche sempre più attenta (anche per disposizioni legislative) al loro fine-vita.

Sebbene, in linea di principio le tecnologie per una quasi completa economia circolare delle materie plastiche esistano già, le frazioni di materie plastiche effettivamente riciclate sono ancora troppo basse. Anche in Europa, il continente più attento a tali aspetti, di circa 50 milioni di tonnellate (Mt) prodotte nel 2018 ne sono state raccolte dopo l'uso circa 29, di cui solo il 42.6% è stato riciclato e solo per il 32.5% è stato effettuato un recupero energetico.

Classificazione dei polimeri dal punto di vista delle applicazioni e della loro riciclabilità

Viene di seguito presentata una classificazione dei polimeri dal punto di vista delle proprietà generali e delle applicazioni.

Polimeri *termoplastici* (più comunemente noti quali materiali plastici) sono polimeri lineari che si presentano quali solidi rigidi a temperatura ambiente e che rammolliscono ad alte temperature (tipicamente comprese tra 100 e 300°C), alle quali gli si può far assumere la forma voluta. Tale forma viene mantenuta a seguito di raffreddamento dei manufatti a temperatura ambiente e può essere modificata a seguito di nuovo trattamento termico al di sopra della temperatura di rammollimento.

Ciò fa sì che i polimeri termoplastici siano tipicamente dei materiali riciclabili. Sono largamente utilizzati sia polimeri termoplastici completamente amorfi, caratterizzati da completo disordine nell'organizzazione intermolecolare, sia semicristallini, cioè caratterizzati dalla presenza di una frazione (generalmente inferiore al 50%) cristallina con ordine molecolare tridimensionale.

I polimeri termoplastici sono quelli di più facile riciclabilità. Infatti nella quasi generalità di tali polimeri è sufficiente superare le temperature di fusione o di transizione vetrosa, a seconda se siano semicristallini o amorfi, per poterli rilavorare e dare una nuova vita.

Polimeri *termoindurenti* sono polimeri amorfi reticolati, cioè caratterizzati da legami covalenti che vengono a formare delle vere e proprie reti molecolari tridimensionali. Essi sono ottenuti a partire da resine fluide, costituite da molecole contenenti vari gruppi funzionali reattivi, che a seguito di riscaldamento o di trattamento con radiazioni elettromagnetiche (generalmente radiazione ultravioletta) induriscono assumendo una forma definitiva. I polimeri termoindurenti, grazie alla presenza di legami covalenti in tutte le direzioni dello spazio, sono tipicamente più resistenti da un punto di vista meccanico e termico rispetto a quelli termoplastici ma presentano lo svantaggio di più complesse tecnologie di lavorazione.

I polimeri termoindurenti, a differenza di quelli termoplastici, sono quelli di più difficile riciclabilità, vista la presenza di legami covalenti nelle loro strutture tridimensionali. Esistono svariate attività di riciclo che ne prevedono la macinazione ed utilizzo come cariche rinforzanti in altri materiali, soprattutto compositi a base polimerica. Tali tipi di utilizzo sono tuttavia considerati poco virtuosi dal punto di vista dell'economia circolare in quanto prevedono un solo processo di riciclo e non un numero potenzialmente infinito di processi di riciclo.

Elastomeri (materiali più comunemente noti come *gomme*) sono polimeri inizialmente lineari e di alta massa molecolare, che sono fluidi viscosi a temperatura ambiente. Essi assumono le tipiche caratteristiche elastiche ad alte deformazioni a seguito di trattamenti chimici di reticolazione, che portano alla formazione di legami (generalmente covalenti) tra macromolecole. Come nel caso dei materiali termoindurenti, il prodotto finale è un materiale amorfo costituito da un reticolo molecolare tridimensionale. Tuttavia, per avere le proprietà fisiche tipiche delle gomme è importante che le catene polimeriche comprese tra due punti di reticolazione mantengano un'elevata mobilità, alle temperature di utilizzo del materiale.

Data la natura di reticoli covalenti tridimensionali, come i materiali termoindurenti, i materiali elastomerici sono caratterizzati da una notevole difficoltà, e spesso dall'impossibilità, di riciclo. Negli ultimi decenni sono stati sviluppati industrialmente i cosiddetti elastomeri termoplastici, cioè gomme che possono essere utilizzate a fine vita per realizzare nuovi oggetti in gomma. Tali nuove gomme sono

caratterizzate da reticolazioni tridimensionali generate da legami deboli in nodi fisici, di solito prodotti da separazioni di fase o da micro-cristallizzazioni.

Fibre (sia naturali che sintetiche) sono materiali semicristallini orientati a base di polimeri lineari di alta massa molecolare. La natura semicristallina di tali materiali è essenziale in quanto la fase amorfa fornisce la tipica flessibilità mentre la fase cristallina fornisce la resistenza meccanica. Le catene polimeriche (soprattutto quelle della fase cristallina) sono altamente allineate rispetto alla direzione della fibra e ciò conferisce, in tale direzione, proprietà meccaniche eccellenti. Soprattutto per le fibre costituite da polimeri termoplastici da polimerizzazioni per policondensazione (quali i poliesteri e le poliammidi sopra citate), i processi di riciclo sono facilmente praticabili, anche se attualmente non esiste una vera filiera di raccolta che li consenta in larga scala.

Riciclo meccanico

L'EASAC è un ente che fornisce consulenza scientifica a beneficio dell'Europa e coinvolge le Accademie Nazionali Scientifiche degli Stati della EU e di Norvegia e Svizzera (per l'Italia, l'Accademia Nazionale dei Lincei). In questa sezione sono descritti dei suggerimenti del rapporto politico ("policy report") dell'EASAC su *Plastics & Circular Economy*, alla cui stesura ha contribuito lo scrivente.

Si tratta soprattutto di suggerimenti per migliorare la fattibilità tecnica ed economica dei processi di separazione e riciclo, quindi essenzialmente dei suggerimenti per una progettazione dei manufatti (soprattutto per l'imballaggio) finalizzata al riciclo.

Il primo suggerimento è quello di limitare l'uso di imballaggio multi-materiale, cioè basato su polimeri differenti e su altri materiali (nelle pratiche più comuni, soprattutto alluminio e carta). Tutti i materiali coinvolti possono essere in linea di principio riciclabili ma la loro adesione rende impossibile il riciclo. Un secondo suggerimento, che potrebbe sembrare minore, è quello di limitare l'uso di colori scuri, che rendono difficile il riconoscimento delle varie materie plastiche, generalmente effettuato mediante tecniche di spettroscopia nel vicino infrarosso (Near Infrared, NIR) e la conseguente separazione dei polimeri.

Il rapporto suggerisce anche di evitare il più possibile, almeno per applicazioni di largo volume, l'uso di copolimeri e miscele speciali, che rendono difficile il riciclo, soprattutto a causa della largamente prevalente immiscibilità (a livello molecolare) tra la maggior parte di polimeri. Si suggerisce inoltre che, se si vuole pervenire ad alti volumi di riciclo, è auspicabile una progressiva riduzione delle tipologie di polimeri

utilizzabili per specifiche applicazioni. Ciò può essere esemplificato privilegiando polietilentereftalato e polietilene ad alta densità per l'imballaggio rigido oppure polietilene a bassa densità e polipropilene per l'imballaggio flessibile.

Un esempio di successo nel riciclo è proprio quello dell'imballaggio rigido per liquidi (bottiglie). In particolare, quasi tutte le bottiglie utilizzate per contenere liquidi alimentari sono costituiti da uno stesso polimero termoplastico (il PET). Ciò consente una facile separazione da tutti gli scarti in plastica ed ha consentito il rapido svilupparsi di una filiera industriale economicamente solida (senza necessità di supporto economica da politiche ambientali) che consente ad esempio di ottenere dalle bottiglie dei filati per uso tessile fino a manufatti per la impermeabilizzazione di tetti.

Questo tipo di processo, sebbene estremamente efficace, è comunque considerato un processo con degradazione ("downgrading"). Infatti la massa molecolare richiesta per l'utilizzo del polimero nelle bottiglie è decisamente più elevata rispetto a quella del polimero richiesto per dei filati.

Riciclo meccanico e rigradazione

Un aspetto chimico estremamente rilevante per il riciclo delle materie plastiche è che larga parte dei poliesteri e più in generale polimeri da policondensazione possono essere rigradati ("upgraded"). In particolare, mediante processi termici è possibile recuperare la lunghezza delle catene (massa molecolare) persa durante il processo di lavorazione e/o durante l'uso dei manufatti.

Ciò apre la possibilità di utilizzare il polimero post-consumo per la stessa applicazione da cui è stato ottenuto. In pratica, rende possibile il riciclo di PET da bottiglia a bottiglia e per un numero di volte, in linea di principio, infinito.

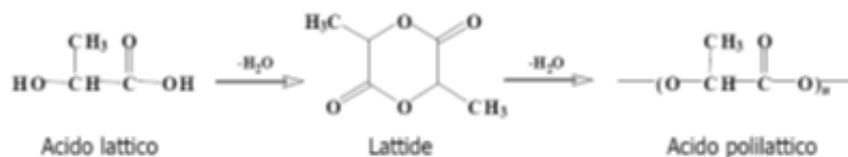
Esistono già in commercio delle bottiglie per liquidi alimentari che contengono fino al 50% di polimero da riciclo. A riguardo è culturalmente interessante notare alcune recenti variazioni di tipo legislativo. Fino a pochi anni fa' il riciclo di materie plastiche era proibito per gli imballaggi alimentari, solo per criterio di precauzione. Infatti le temperature di lavorazione delle bottiglie sono largamente superiori alle temperature di resistenza di qualunque agente patogeno. Attualmente, all'opposto, è stata già espressa la volontà dell'Unione Europea di imporre nel processo di produzione delle bottiglie un quantitativo minimo di polimero da riciclo.

Polimeri biodegradabili

Gli impatti ambientali negativi della plastica hanno portato a sforzi per trovare materiali che abbiano (o sembrano avere) proprietà più rispettose degli ecosistemi, in caso di dispersione nell'ambiente. Particolarmente interessanti sono le plastiche biodegradabili che possono degradare dando residui ecologicamente benigni attraverso processi che generalmente coinvolgono batteri, in varie condizioni ambientali. Un altro termine importante da conoscere è quello di plastiche compostabili, cioè progettate per degradare in impianti di compostaggio industriale.

Studi di valutazioni del ciclo-di-vita ("Life Cycle Assesments", LCA), relativi alla sostituzione del petrolio con colture agricole come materie prime, hanno mostrato che le plastiche biodegradabili non sono intrinsecamente più rispettose dell'ambiente.

Un prodotto biodegradabile molto interessante è un poliestere alifatico: l'acido polilattico (PLA). Tale polimero infatti, ottenuto dalla polimerizzazione dell'acido lattico, è stato già prodotto nel 2020 in quantità vicine alle 300.000 t/anno.



La biodegradazione di tale polimero, come di molti altri polimeri biodegradabili, è di solito troppo lenta nell'ambiente. Si ha tuttavia una degradazione in tempi ragionevoli nelle condizioni drastiche del compostaggio industriale.

A parere dello scrivente, poliesteri biodegradabili quali il PLA potrebbero costituire dei polimeri di elezione per l'Economia Circolare. Infatti, come gli altri poliesteri, sono suscettibili a processi termici di rigradazione e pertanto potrebbero essere utilizzati in una lunga serie di processi di riciclo meccanico. Il vantaggio rispetto ai poliesteri riciclabili ma non biodegradabili (quale il PET) è quello di garantire un fine-vita ecologicamente corretto alla piccola frazione che non si riesce a recuperare e pertanto viene dispersa nell'ambiente. A tale riguardo è anche utile sottolineare che l'acido lattico principale prodotto di degradazione del PLA è composto naturale normalmente presente nell'organismo e quindi facilmente metabolizzabile.

Conclusioni

Esistono ben consolidate competenze tecniche per incrementare sostanzialmente l'economia circolare delle plastiche, soprattutto per quelle usate per l'imballaggio. Nella maggior parte dei casi, soprattutto per prodotti di largo uso, bisogna sostituire alla progettazione finalizzata solo alle proprietà (“design for performance”) una progettazione principalmente finalizzata alla gestione del fine-vita (“design for recycle”)

Plastiche biodegradabili possono risultare eccellenti per molte applicazioni “usa e getta”, tuttavia possono risultare non pienamente idonee ai principi dell'Economia Circolare. Infatti, un loro consumo in larga scala genererebbe competizione con l'uso alimentare di risorse agricole.

Particolarmente interessanti paiono tuttavia quelle plastiche suscettibili a processi termici di rigradazione e pertanto potenzialmente utilizzabili in una serie praticamente infinita di processi di riciclo meccanico. Nel caso di plastiche di plastiche digradabili e biodegradabili si avrebbe l'ulteriore vantaggio di garantire un fine-vita ecologicamente corretto alla frazione involontariamente dispersa nell'ambiente.

Riferimenti

1. <https://easac.eu/publications/details/packaging-plastics-in-the-circular-economy>
2. Paolo Corradini, Gaetano Guerra. I polimeri nella vita di tutti i giorni. I mercoledì delle Accademie Napoletane nell'Anno Accademico 2002-2003. A cura di M.Capaccioli, A. Garzya, F.Tessitore, Giannini Ed. 2004, pag.123-140.
3. https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf