

Fig. 1 - Produzione mondiale di manufatti plastici: a) produzione globale; b) produzione da fonti rinnovabili [4, 5]

Emo Chiellini, Andrea Corti
Laboratorio Materiali Polimerici Bioattivi
per Applicazioni Biomediche ed Ambientali
UdR INSTM
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
Università di Pisa
emochie@dcci.unipi.it

PLASTICHE OXO-BIODEGRADABILI: COSA SONO E A COSA SERVONO

La presente nota è volta a fornire elementi relativamente alle problematiche ambientali legate al consumo di manufatti plastici ed all'impatto negativo sull'ambiente una volta giunti a fine vita. La soluzione al problema, visti i consumi a livello mondiale di manufatti plastici di largo impiego (commodity), non è sostenibile con il solo utilizzo di manufatti da risorse rinnovabili (compostabili o meno) che auspicabilmente non interferiscano con la filiera alimentare. Occorre infatti che si sostengano gli sforzi intesi ad un'ingegnerizzazione di materiali polimerici convenzionali a catena poliidrocarburica per la produzione di manufatti di largo consumo, identificati come oxo-biodegradabili. Questi, a fine vita, possono essere avviati al riciclo a materia prima seconda, utilizzati come combustibili solidi, e, qualora incautamente abbandonati nell'ambiente, non diano problemi legati al loro accumulo.

Il consumo mondiale di materiali polimerici e relativi manufatti plastici ad oggi è intorno ai 300 milioni di tonnellate, con una ragionevole previsione di un consumo di ca. 330 milioni di tonnellate nel 2015, di cui solo 1,71 milioni di tonnellate (0,5%) di materiali polimerici da fonti rinnovabili. Questi ultimi, quando convertiti in manufatti plastici, sono purtroppo identificati sotto la dizione ambigua di "bioplastiche", come evidenziato in documenti ufficiali della Comunità Europea [1, 2]. Al di là della suggestiva ambiguità preme inoltre far rilevare che tale denominazione non è nemmeno contemplata nel documento tecnico della Comunità Europea relativo alla nomenclatura dei materiali polimerici degradabili e biodegradabili e relativi manufatti plastici [3].

I numeri sopraindicati sono ricavati dalla Fig. 1 in cui l'istogramma 1a) è riferito all'andamento della produzione di materiali polimerici a partire dalla metà del secolo scorso fino al 2015 [4] mentre quello riportato in 1b) si riferisce alla produzione di materiali polimerici da fonti rinnovabili a decorrere dal 2008 fino al 2015 [5].

È da tener presente che il 35-40% della produzione mondiale di materiali polimerici viene convertito a manufatti plastici di breve-vita che, sotto il neologismo di "commodity", vanno a coprire il fabbisogno degli imballaggi per alimenti e per impieghi non alimentari, inclusa la produ-

zione di oggetti monouso (*disposables*) sia in forma flessibile, semiflessibile e rigida.

Dalla metà del secolo scorso dopo le varie ere, caratterizzate dall'utilizzo di materiali inorganici (pietra, ferro ed oro), siamo nel bel mezzo dell'era della plastica, basata sull'utilizzo di componenti organiche come materia prima di base suscettibile ad essere utilizzata per la produzione di manufatti termoplastici e termoindurenti. Con la plastica convenzionale è prevista una "convivenza" ancora per diversi lustri, perché certi manufatti di facile e largo impiego sono pressoché insostituibili e permeano con crescente impatto tutti i tipi di attività antropiche previste in espansione a seguito dell'incremento della popolazione mondiale (Fig. 2).

Questo aspetto, come ben intuibile, comporta di fatto anche un aumento della produzione di alimenti e conseguentemente di commodity con tutti i rischi che possono derivare dal loro incauto abbandono nell'ambiente

Non bisogna infatti trascurare una grave problematica relativa ai manufatti plastici breve-vita tradizionali, identificabili in massima parte nelle commodity, dovuta al loro progressivo accumulo nell'ambiente a causa sia dell'incauto abbandono, ma anche in più larga misura a

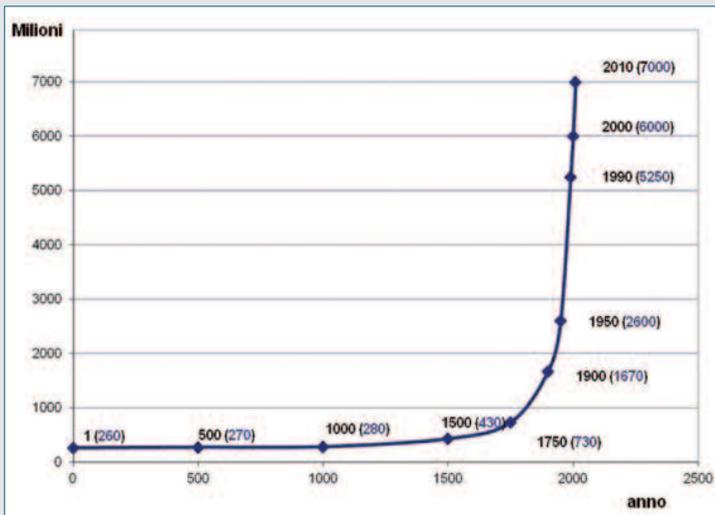


Fig. 2 - Crescita della popolazione mondiale sulla scala dell'Era Cristiana

cause sistemiche, come la mancanza o l'inefficacia di una capillare raccolta organizzata e differenziata dei rifiuti. Non peraltro va dimenticato che tale problematica è di portata globale, poiché un manufatto plastico breve-vita incautamente abbandonato in Sudafrica attraverso le vie d'acqua, fluviali e marine, può essere spiaggiato sulle coste scandinave o del Nord America [6, 7]. Il rifiuto plastico abbandonato nell'ambiente ha una cittadinanza transnazionale e quindi di non facile controllo gestionale per mitigarne i potenziali effetti deleteri sull'ambiente. L'accumulo cui abbiamo assistito nel corso degli ultimi anni è dovuto al fatto che i manufatti plastici di largo consumo, ottenuti dagli insostituibili materiali polimerici di derivazione petrolchimica, sono principalmente costituiti da macromolecole a struttura poliidrocarburea, che hanno normalmente tempi di degradazione e quindi di biodegradazione nell'ambiente molto lunghi, dell'ordine di decine di anni se non di secoli [8]. Sono pertanto assolutamente da incentivare ed approvare tutte le politiche e le attività di ricerca che vadano nella direzione di affrontare i problemi sopraindicati, proponendo concrete soluzioni che

Tab. 1 - Programma di attività informativa e formativa sullo sviluppo di materiali polimerici sostenibili e plastiche biodegradabili promosso da ICS UNIDO per Paesi emergenti ed in via di sviluppo

• Dicembre 1996	SPCM	Trieste, Italia	• Settembre 2002	EGM	Trieste, Italia
• Giugno 1997	TC	Alexandria, Egitto	• Ottobre 2002	WSP	Bangkok, Thailandia
• Novembre 1997	WSP	Pune, India	• Ottobre 2002	WSP	Beijing, Cina
• Aprile 1998	EGM	Trieste, Italia	• Novembre 2002	WSP	Santiago, Cile
• Settembre 1998	WSP	Antalya, Turchia	• Luglio 2003	EGM	Trieste, Italia
• Novembre 1998	WSP	Campinas, Brasile	• Aprile 2004	WSP	Teheran, Iran
• Marzo 1999	WSP	Doha, Qatar	• Ottobre 2004	WSP	Beijing, Cina
• Settembre 1999	WSP	Shanghai, Cina	• Novembre 2004	WSP	Kampala, Uganda
• Ottobre 1999	WSP	Smolenice, Slovacchia	• Dicembre 2004	EGM	Trieste, Italia
• Marzo 2000	WSP	Sharjah, UAE	• Novembre 2005	WSP	San Jose, Costa Rica
• Settembre 2000	WSP	Seoul, Korea	• Dicembre 2005	EGM	Trieste, Italia
• Novembre 2000	EGM	Trieste, Italia	• Febbraio 2006	EGM	Trieste, Italia
• Giugno 2001	WSP	Lodz, Polonia	• Giugno 2006	WSP	Belgrade, Serbia
• Settembre 2001	WSP	Jakarta, Indonesia	• Dicembre 2006	WSP	Pune, India
• Novembre 2001	WSP	Manama, Bahrain	• Ottobre 2007	WSP	Pechino, Cina
• Dicembre 2001	EGM	Trieste, Italia	• Marzo 2008	WSP	Cairo, Egitto

SPCM: Scientific Planning Committee Meeting TC: Training Congress WSP: Workshop EGM: Expert: Expert Group Meeting

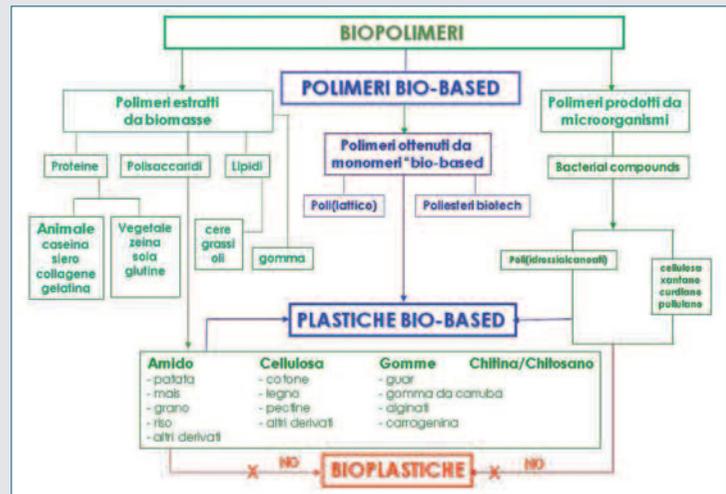


Fig. 3 - Materiali polimerici di origine naturale o bio-derivati (bio-based) e loro conversione a manufatti "bio-derivati"

siano compatibili con lo sviluppo economico previsto ed auspicato non solo per Paesi europei ma anche extra-europei.

In questo contesto particolare attenzione è da tributare ai Paesi in via di sviluppo, come già affrontato in un programma promosso dall'UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) mediante il Centro Internazionale di Scienza ed Alta Tecnologia (ICS) di Padriciano (Trieste) per più di un decennio a partire dal 1996 (Tab. 1) [9]. Anche lo scrivente (E. C.) ha avuto l'onore e l'onere di contribuire con piacere, in maniera fattiva, alla disseminazione dei concetti fondamentali relativi allo sviluppo di materiali polimerici e relativi manufatti ecocompatibili/biodegradabili corredati anche da stringenti suggerimenti sulla corretta gestione del loro fine vita.

Un approccio mirato a risolvere il problema dell'accumulo di manufatti plastici a breve-vita è stato quello di rincorrere le chimeriche "bioplastiche". L'uso dell'attributo chimeriche è dettato dall'etimologia della parola "bioplastiche". Infatti con il termine "plastica" (plastiche) si identifica una famiglia di manufatti semilavorati e finiti ottenuti attraverso la lavorazione di materiali polimerici di sintesi o semisintesi con l'apporto di uomini, infrastrutture e mezzi frutto dell'ingegno umano. Per analogia il termine "bioplastica" (bioplastiche) starebbe ad identificare una famiglia di manufatti plastici prodotti dalla natura senza l'intervento dell'ingegno umano, fatto che, a nostra conoscenza, non è mai stato sperimentalmente provato, sebbene madre natura sia dotata di un paniere di qualità ed attributi che portano spesso a rimediare gli effetti deleteri dovuti ad azioni causate dall'incuria umana contro l'ambiente. I manufatti plastici da precursori di origine naturale (biopolimeri e relative componenti monomeriche) vengono infatti ottenuti mediante lavorazione dopo loro modifiche chimiche o aggiunta di additivi che ne permettono la loro processabilità. Nel loro successivo impiego, possono pertanto essere identificati, a nostro avviso correttamente, con l'attributo di "plastiche derivate da precursori di origine naturale" o più sinteticamente, secondo una dizione inglese, "bio-based plastics" (Fig. 3), plastiche "bio-derivate" anche in accordo a quanto indicato in [1,

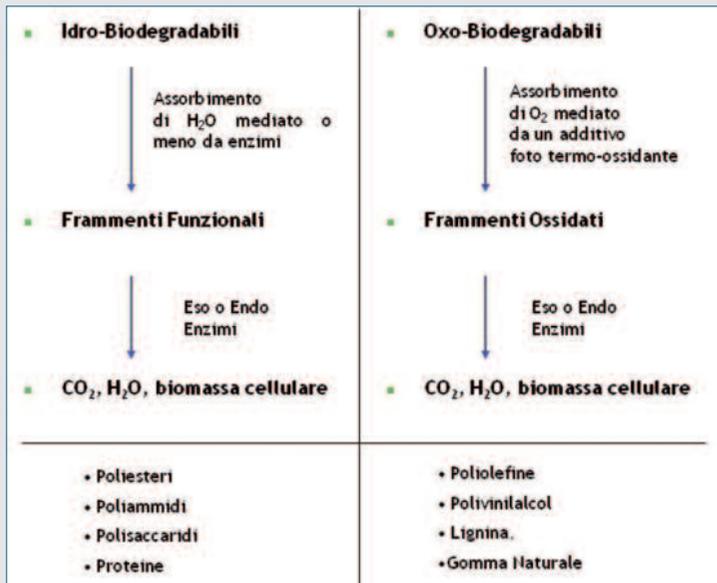


Fig. 6 - Materiali polimerici e manufatti plastici bio-degradabili

ve mirate a mimare e velocizzare l'attività pro-ossidante di microrganismi, può auspicabilmente condurre a preordinare il fine vita di manufatti plastici a base poliidrocarburica mediante una cascata di reazioni radicaliche in condizioni aerobiche capaci di determinare una degradazione ossidativa delle macromolecole a frammenti contenenti gruppi funzionali ossidati (carbonilici, carbossilici, ossidrilici, esterei).

La oxo-biodegradazione non è quindi una parola blasfema da condannare come i versetti satanici e non è nemmeno da relegare ad un ruolo di *fiction* ma è senz'altro una realtà da incentivare nell'interesse della salvaguardia dell'ambiente e della libera concorrenza per produzione ed uso di manufatti commodity di largo consumo. I frammenti funzionali ottenibili come schematizzato in Fig. 5 grazie alla presenza di gruppi funzionali idrofilici diventano bagnabili, permettendo un attacco da parte di consorzi di microrganismi ubiquitari in diversi compartimenti ambientali che si risolvono in un loro attacco biodegradativo (Fig. 5).

Questo modo di procedere ci permette pertanto di generalizzare i concetti ed i principi informativi sulla biodegradabilità di materiali polimerici e relativi manufatti plastici, riconducendo sostanzialmente il tutto ad una classe di materiali e prodotti identificabili come biodegradabili in condizioni ambientali da definire contestualmente, in quanto la biodegradabilità è un attributo non assoluto ma relativo alle condizioni ambientali adottate. Tale classe può essere suddivisa per convenienza in due categorie di materiali e prodotti identificabili come idro-biodegradabili ed oxo-biodegradabili, nel rispetto della tipologia dei primi stadi che portano ad una loro degradazione a frammenti aggredibili da microrganismi ubiquitari in differenti comparti ambientali (Fig. 6), che prevedono l'azione di acqua nel primo caso e di

ossigeno nel secondo. In Fig. 7 è riportata una rappresentazione schematica degli effetti di un attacco oxo-biodegradativo di una catena polietilenica a bassa densità (LDPE), in cui sono indicati i parametri che comunemente vengono monitorati a sostegno delle evidenze sperimentali che garantiscono per il decorso della preliminare degradazione ossidativa promossa da additivi pro-degradanti/pro-ossidanti seguita dall'attacco catabolico dei frammenti funzionali da parte dei microrganismi ubiquitari in diversi compartimenti ambientali [18-27]. Preme inoltre far rilevare che le posizioni sostenute da miscredenti e denigratori dei materiali polimerici e plastiche oxo-biodegradabili, che argomentano le loro convinzioni adducendo motivazioni quali a) la tossicità degli additivi pro-degradanti/pro-ossidanti, b) la non riciclabilità meccanica dei manufatti plastici oxo-biodegradabili, c) l'accumulo di frammenti derivanti dalla prima fase di degradazione nell'ambiente con effetti negativi su flora e fauna, sono confutabili sulla base di chiare evidenze scientifiche riportate in [21, 28-32].

Vista la limitazione di spazio che la rivista ci impone ci sentiamo in dovere di fermarci a questo punto, tuttavia lasciando intendere al lettore interessato all'argomento che il presente articolo si è esclusivamente limitato a fornire una serie di informazioni introduttive ad un capitolo della scienza e tecnologia dei materiali polimerici e relativi manufatti plastici. L'importanza pratica di detti materiali e manufatti nel rispetto delle garanzie a sostegno della protezione ambientale e dei principi guida della libera concorrenza commerciale, non deve essere oscurata da pregiudizi di dubbio profilo tecnico-scientifico, dettati da una visione parziale di una problematica di portata globale.

In conclusione ribadiamo quanto abbiamo più volte affermato in pubblicazioni a carattere scientifico e/o divulgative ed in conferenze nazionali ed internazionali sulle opportunità che tra i materiali polimerici e manufatti plastici da fonti rinnovabili identificati come compostabili e

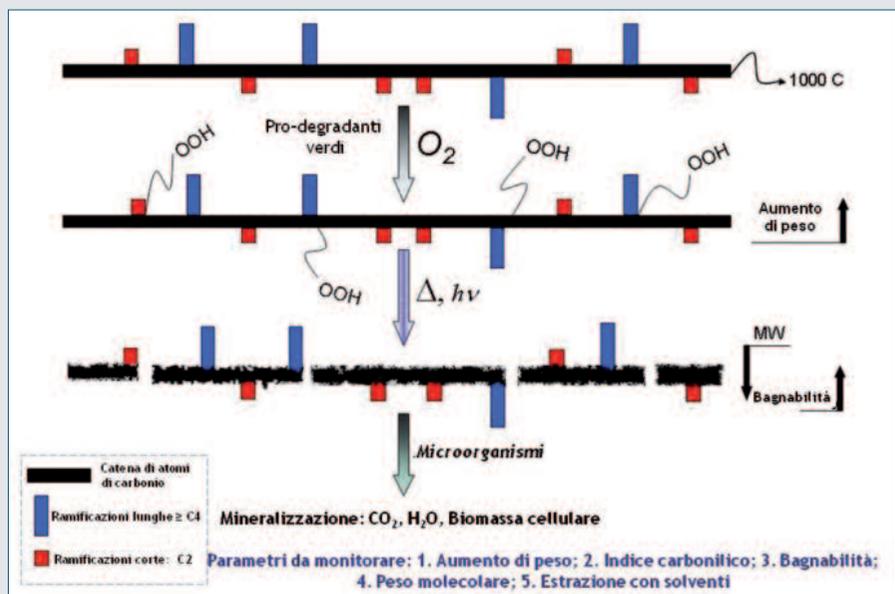


Fig. 7 - Rappresentazione schematica del processo di oxo-biodegradazione di una catena macromolecolare di polietilene a bassa densità (LDPE)

quelli da fonti petrolchimiche utilizzabili per la produzione di manufatti di largo impiego identificabili come oxo-biodegradabili ci sia invece di una “partnership” armata, un “matrimonio” duraturo nell'interesse generale di un corretto e bilanciato sviluppo in un settore, quale quel-

lo delle commodity a matrice polimerica, nell'interesse degli utilizzatori finali e nel rispetto della protezione ambientale.

C'è posto per tutti, viste le quantità e l'importanza delle commodity per un mondo in crescita esponenziale di esseri viventi.

Bibliografia

- [1] L. Shen *et al.*, Product overview and market projection of emerging bio-based plastics, PRO-BIP 2009.
- [2] CEN/TR 15932-2009, “Plastics-Recommendation for terminology and characterisation of bioplastics”.
- [3] CEN/TR 15351-2005. “Plastics-Guide for Vocabulary in the field of degradable and biodegradable polymers and plastic items”.
- [4] www.plasticseurope.com
- [5] press@european-bioplastics.org
- [6] J.G.B. Derraik, *Mar. Pollut. Bull.*, 2002, **44**, 842.
- [7] M.R. Gregory, *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.*, 2009, **364**, 2013.
- [8] Y. Ohtake *et al.*, *Polym. Degrad. Stab.*, 1998, **60**, 79.
- [9] ICS-UNIDO program on “Plastic Waste Management and Sustainable Development”, Dec. 1996-March 2008.
- [10] S.A. Barenberg *et al.*, Degradable materials, Perspectives, Issues, and Opportunities, CRC Press, Boca Raton, 1990.
- [11] <https://plasticssource.com/splasticsresource/docs/900/840.pdf>; www.plasticseurope.org, 2006
- [12] www.biomassmagazine.com.2009; www.Plasticculture.com.2009
- [13] Decreto legge del Parlamento Italiano n. 397 del 09/09/1988 “Disposizioni urgenti in materia di smaltimento dei rifiuti”.
- [14] Legge ordinaria del Parlamento Italiano n. 475 del 09/11/1988 “Disposizioni urgenti in materia di smaltimento dei rifiuti industriali”, art. 1, comma 8.
- [15] Decreto legge del Parlamento Italiano n. 22 del 05/02/1997 “Attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio, art. 56.
- [16] www.cipet.gov.in “Plastics Industry-Statistics”.
- [17] Microbial Degradation of Organic Compounds, David T. Gibson (Ed.), Marcel Dekker Inc., 1984.
- [18] E. Chiellini, *Com. Pack*, 2012, **4**, 16.
- [19] E. Chiellini *et al.*, *Polym. Degrad. Stab.*, 2003, **81**, 341.
- [20] E. Chiellini, A. Corti, *Macromol. Symp.*, 2003, **197**, 381.
- [21] E. Chiellini *et al.*, *Polym. Degrad. Stab.*, 2006, **91**, 2739.
- [22] E. Chiellini *et al.*, *J. Polymer Environ.*, 2007, **15**, 169.
- [23] E. Chiellini *et al.*, *Polym. Degrad. Stab.*, 2007, **92**, 1378.
- [24] E. Chiellini, Environmentally Compatible Food Packaging, CRC Press, Cambridge (UK), 2008.
- [25] A.Corti *et al.*, *Polym. Degrad. Stab.*, 2010, **95**, 1106.
- [26] E. Chiellini *et al.*, Oxobiodegradable Polymers: Present Status and Perspectives, in Handbook of Biodegradable Polymers, Lendlein & Schroeter (Eds.), Wiley-VCH, Weinheim (Germany), 2011, 379.
- [27] E. Chiellini, A. Corti, Developments and Future Trends for Environmentally Degradable Plastics, in Renewable Resources and Renewable Energy: A Global Challenge, P. Fornasiero, S.M. Graziani (Eds.), Taylor and Francis Group, LLC, 2011, 91.
- [28] A. Corti *et al.*, *J. Polym. Environ.*, in press.
- [29] I. Jakubowicz *et al.*, *Polym. Degrad. Stab.*, 2011, **96**, 919.
- [30] S. Verstichel, Organic Waste Systems (OWS) Final Report, “Ecotoxicity Tests - Cress Test. Summer Barley Plant Growth Test Earthworm, Acute Toxicity Test Daphnia, Acute Toxicity on Compost Residuals of EPI-TDPA-Study CH-3/2 (Cress Test), Study CH-3/3 (Summer barley plant growth test) Study CH-3/4 (Earthworm, acute toxicity test), Study CH-3/5 (Daphnia, acute toxicity test)”.
- [31] M. Brunet *et al.*, Environment Department Quebec “Evaluation of the impact of biodegradable bags on the recycling of traditional plastic bags”- CRIQ File n. 640-PE35461- Final Technical Report.
- [32] Roediger Agencies cc; Polymer Science Building Analytical Laboratory; De Beer Street, Stellenbosch 7600; 6th March 2012; “Recycling Report on d2w oxo-biodegradable Plastics”.
- [33] I. Jakubowicz, J. Enebro, *Polym. Degrad. Stab.*, 2012, **97**, 316.

ABSTRACT

Oxo-Biodegradable Plastic. ID Card & Service Life

The present note is aimed at providing a short overview on the reasons why it is necessary to promote the production and commercialization of polymeric materials and relevant plastic items displaying a controller service life beyond which they become waste might be recovered as second life raw materials, as solid fuel or might be biodegraded under aerobic conditions to H₂O, CO₂, and cell biomass. In particular, considering the world consumption of plastic commodities, it is necessary, in order to mitigate the environmental burden bound to the accumulation of plastic waste in the environment to have on the market compatible plastic items from renewable resources not interfering with food chain and at the same time oxo-biodegradable full carbon backbone polymeric materials and plastics that have a major share in the production of ever increasing amounts of commodities.