



CHIMICA SOSTENIBILE: LE BIOPLASTICHE

Maria Irene Donnoli,^a Maria Funicello,^b

^a *IPASR “G. Fortunato” POTENZA*

^b *Dipartimento di Scienze, Università della Basilicata*

mariairene.donnoli@istruzione.it

INTRODUZIONE

Ogni anno svolgiamo una attività di laboratorio PLS con gruppi di studenti delle classi quarte e/o quinte degli Istituti Scolastici Secondari di II grado; l'argomento è sempre diverso e prima di preparare la scheda dell'attività incontriamo gli insegnanti referenti delle scuole con cui siamo in contatto per condividere con loro la proposta. Lo scopo è duplice:

- Stimolare gli studenti ad approfondire aspetti della chimica normalmente poco evidenziati nelle comuni attività scolastiche
- Cogliere l'occasione per effettuare anche una attività di formazione degli insegnanti in servizio.

Per l'anno scolastico 2019-20 si è deciso di affrontare argomenti di chimica sostenibile, proponendo come attività di laboratorio sia la sintesi di una bioplastica che l'idrolisi di due tipi di materiali plastici riciclabili, l'acido polilattico (PLA) e il polietilentereftalato (PET).

La **chimica verde** o **sostenibile** è una concezione della chimica che si propone di indirizzare su percorsi di sostenibilità l'approccio all'industria chimica. Lo sviluppo sostenibile, chiave di volta del progresso tecnologico nel nuovo secolo, impone infatti alle scienze chimiche di giocare un ruolo primario nella riconversione di vecchie tecnologie in nuovi processi puliti e nella progettazione di nuovi prodotti e nuovi processi eco-compatibili.

La consapevolezza del fatto che l'inquinamento non conosce confini nazionali, particolarmente quello dell'aria e dell'acqua, richiede sempre più l'adozione di politiche di controllo internazionalmente accettate. Le grandi agenzie ambientali governative, la grande industria ed il mondo della chimica in

generale, stanno elaborando ed assumendo un codice di comportamento che individua strategie precise per prevenire l'inquinamento.

Un altro aspetto della chimica verde è quello di cercare di ridurre il più possibile i consumi, gli sprechi energetici nell'eseguire i processi industriali, e di utilizzare fonti energetiche rinnovabili. La moderna chimica di sintesi dipende ancora per gran parte dalla petrolchimica, che utilizza come materie prime i prodotti derivanti dal petrolio, in via di esaurimento; ne deriva un'attenzione particolare da parte delle nuove ricerche chimiche nel cercare di produrre materie plastiche e prodotti chimici ricavati da fonti biologiche e rinnovabili.

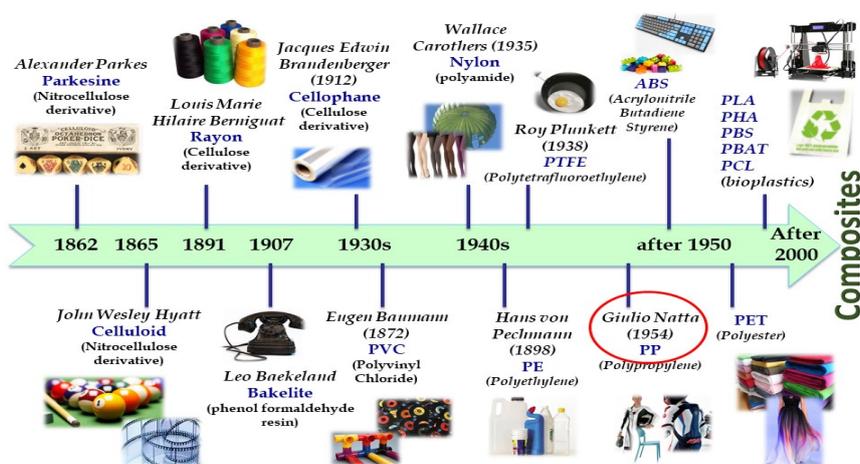
Nel settembre 2015 più di 150 leader internazionali si sono incontrati alle Nazioni Unite per contribuire allo sviluppo globale, promuovere il benessere umano e proteggere l'ambiente. La comunità degli Stati ha approvato l'Agenda 2030 per uno sviluppo sostenibile, i cui elementi essenziali sono i 17 obiettivi (OSS/SDGs, Sustainable Development Goals) e i 169 sotto-obiettivi, mirati a porre fine alla povertà, a lottare contro l'ineguaglianza e allo sviluppo sociale ed economico. Inoltre, riprendono aspetti di fondamentale importanza per lo sviluppo sostenibile quali: garantire modelli di produzione e consumo (obiettivo 12); assicurare la gestione sostenibile dell'acqua sul pianeta (obiettivi 6 e 14); proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre (obiettivo 15); promuovere l'industrializzazione sostenibile e l'innovazione (obiettivo 9), il tutto entro l'anno 2030.

'Obiettivi comuni' significa che essi riguardano tutti i Paesi e tutti gli individui: nessuno ne è escluso, né deve essere lasciato indietro lungo il cammino necessario per portare il mondo sulla strada della sostenibilità.



BIOPLASTICHE

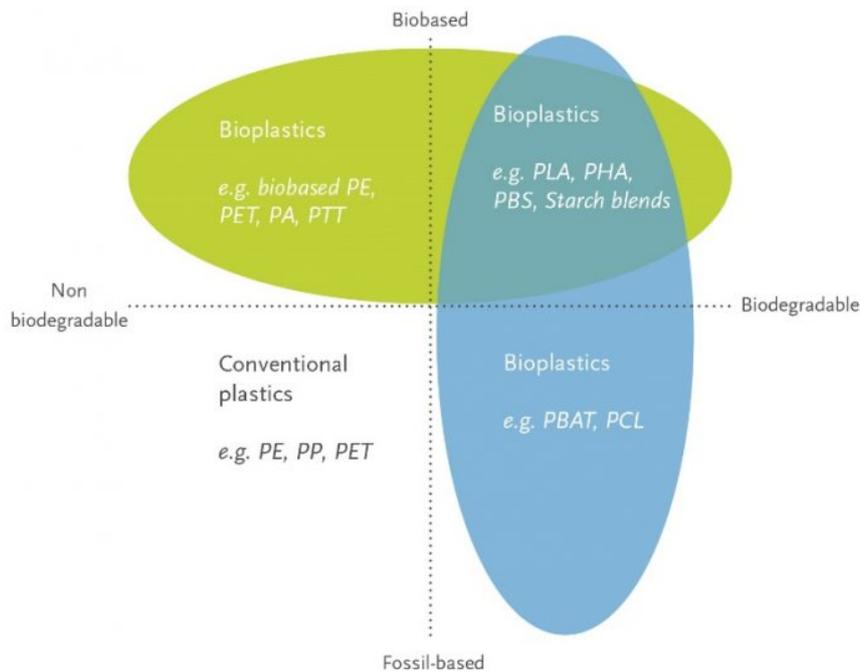
Con il termine “plastica” generalmente si intende un tipo di materiale molto leggero, a struttura macromolecolare; chimicamente si può considerare un derivato del petrolio e più precisamente dal processo di “cracking” che porta all’ottenimento di monomeri quali etilene e propilene impiegati per la sua produzione. Le materie plastiche hanno, per certi aspetti, ottime caratteristiche: sono facili da lavorare, sono resistenti all’invecchiamento e alla corrosione, sono praticamente immuni da muffe, funghi e batteri, sono economiche, sono infrangibili; ma non sono purtroppo biodegradabili, e se vengono bruciate producono diossina, componente altamente tossica e pericolosa per l’uomo.



Le qualità attraenti della plastica ci hanno portato ad un atteggiamento vorace e ad un eccessivo consumo dei beni da essa derivanti, a tal punto che la plastica è diventato un bene primario per l’umanità; tuttavia è diventato anche un emblema di spreco, inquinamento ed eco-tossicità.

È stato quindi necessario individuare dei materiali che avessero le stesse caratteristiche favorevoli delle materie plastiche ma che non fossero dannose per l’ambiente; dai primi anni del nuovo millennio sono state investite energie per mettere a punto delle tecniche di produzione di nuovi materiali a più basso impatto ambientale: le **bioplastiche**.

Con il termine “bioplastica” si intende un tipo di materiale che o deriva da biomasse, o è biodegradabile, oppure possiede entrambe le caratteristiche. Il termine biomassa non è sinonimo di biodegradabile, ma individua un materiale che, in seguito all’azione di microrganismi (batteri, funghi, muffe) viene degradato. Alcuni materiali derivati da biomasse sono biodegradabili (è per esempio il caso dell’acido polilattico, PLA), altri invece no (per esempio, il *BIO-PET*); l’immagine sottostante rende piuttosto chiaro questo concetto:



Si possono distinguere, quindi, tre categorie di bioplastiche:

- **bioplastiche non biodegradabili a base interamente o parzialmente bio** (PE, PET, PA, PTT biobased, rispettivamente polietilene, polietilene tereftalato, poliacrilato, politrimetilene tereftalato a base bio)
- **bioplastiche biodegradabili e a base bio** (PLA, PHA, PBS e Starch blends, rispettivamente acido polilattico, poliidrossialcanoati, polibutilene succinato e miscele di amido a base bio)
- **bioplastiche basate su risorse fossili e biodegradabili** (PBAT, polibutirrato-adipato-tereftalato).

Non rientrano in queste categorie i materiali plastici non biodegradabili basati su risorse fossili (per esempio, polietilene, polipropilene, PET non a base bio); si parla in questo caso di plastiche convenzionali. Non c'è bisogno di ribadire l'importanza della plastica a livello commerciale e industriale; è praticamente impossibile elencarne tutti gli usi che ne vengono fatti e al momento attuale è pura utopia pensare a un mondo "plastic free" dal momento che la gran parte dei prodotti che utilizziamo quotidianamente ne sono costituiti in parte o in toto.

Tuttavia, per moltissimi di questi prodotti, anche se non per tutti, esiste una valida alternativa in bioplastica e, quindi, la possibilità di un minore impatto ambientale. Del resto, sono sempre di più le aziende che si stanno attrezzando in questo senso e ciò è anche merito di un'aumentata consapevolezza dell'importanza della sostenibilità dell'ambiente.

Le bioplastiche possono essere ottenute da vari tipi di materia prima, quali ad esempio:

- canna da zucchero, melassa e oli vegetali (produzione di BioPET, BioPE, BioPA ecc.; né biodegradabili né compostabili)

- amido di mais, barbabietola da zucchero, tapioca (produzione di PLA; biodegradabile e compostabile)
- amido di mais, canna da zucchero, barbabietola da zucchero, biomasse (PHA; biodegradabile e compostabile)
- fibra di legno, canapa, lino, bambù ecc.; (biocompositi; sono biodegradabili e compostabili).

Da tempo si stanno studiando miscele sempre diverse per la produzione delle bioplastiche; una delle ultime proposte è quella della designer cilena Margarita Talep che ha realizzato una plastica biodegradabile, da utilizzare per la produzione di imballaggi, sfruttando una miscela a base di agar-agar (un polisaccaride ricavato dalle alghe).

I principali vantaggi dell'utilizzo di questi materiali sono il basso impatto ambientale e una maggiore facilità di riciclaggio: i rifiuti in bioplastica biodegradabile hanno tempi di degradazione decisamente più rapidi rispetto a quelli in plastica tradizionale e conseguentemente un impatto ambientale decisamente inferiore.

Inoltre, le bioplastiche realizzate da risorse rinnovabili (in particolare da biomasse) non hanno il problema dell'esaurimento della materia prima.

Per quanto riguarda gli svantaggi: il principale è legato al fatto che, se il settore delle bioplastiche prendesse veramente piede, lo sfruttamento delle coltivazioni di cereali, quali il mais, potrebbe ridurre la produzione agricola di alimenti rischiando di compromettere la disponibilità di cibo.

Un altro svantaggio sono i costi di produzione, più alti di quelli relativi alla produzione di plastiche convenzionali, essendo ancora tecnologie meno consolidate rispetto a quelle del settore petrolchimico.

Va infine considerato che, al momento attuale, nessuna delle bioplastiche presenti in commercio soddisfa appieno il requisito della totale sostenibilità (si pensi, solo per fare un esempio, all'inquinamento da trasporto delle biomasse necessarie alla produzione) derivando anche da questi prodotti derivano altri rifiuti: sono ancora molte le sfide che ci attendono per raggiungere gli obiettivi dell'Agenda 2030!

ESPERIMENTI IN LABORATORIO

PREPARAZIONE DI UNA BIOPLASTICA

Materiale Occorrente

- 25 mL di acqua distillata
- 2,5 g di amido di mais
- 2,5 g di glicerina
- 3 mL di HCl 0,1 M
- 3 mL di NaOH 0,1 M
- Colorante alimentare
- Cartina al tornasole

Norme di sicurezza

- Usare guanti ed occhiali di protezione
- Lavorare sotto cappa

Procedura da seguire

In un becher da 100 mL si pesano 2.5 g di amido di mais e 2,5 g di glicerina, si aggiungono 25 mL di acqua e si mescola con una bacchetta di vetro: si ottiene una miscela lattiginosa opaca.

Si aggiungono 3 mL di HCl 0,1 M e si riscalda su piastra scaldante per alcuni minuti, mescolando. Durante il riscaldamento la miscela diventa più uniforme e trasparente, si forma un gel che si lascia raffreddare per alcuni minuti e poi si aggiunge goccia a goccia una soluzione di NaOH 0,1 M fino a neutralizzazione rivelata con la cartina al tornasole.

Quindi si aggiungono alcune gocce di colorante per alimenti e si mescola accuratamente: quanto ottenuto viene depositato in strato sottile su un contenitore adeguato, ad esempio su capsula di Petri o su un vetrino da orologio e si lascia asciugare a temperatura ambiente per un paio di giorni o in stufa a 100°C per 2 ore.

Si ripete la preparazione della bioplastica senza il glicerolo e si deposita sempre su strato sottile. Il confronto tra le proprietà del film ottenuto con e senza il glicerolo è rilevante per evidenziare la funzione plasticizzante del reagente.

Una volta asciugati, è possibile rimuovere delicatamente i film di bioplastica dai supporti usati per la deposizione: Il materiale ottenuto utilizzando il glicerolo come reagente è elastico e deformabile, ha quindi delle caratteristiche plastiche, mentre nel secondo caso il materiale è rigido e fragile, se sottoposto a deformazione si rompe.

IDROLISI BASICA DEL PET (POLIETILENTEREFTALATO)

Materiale Occorrente

- 4.0 g di PET (0.024 mol/equiv. di estere)
- 35 mL di pentanolo
- 3.6 g di KOH
- HCl diluito (ca 1:10)

Norme di sicurezza

- Usare guanti ed occhiali di protezione
- Lavorare sotto cappa

Procedura da seguire

In un pallone da 100 mL munito di condensatore a ricadere vengono pesati 4.0 g di PET (0.024 mol/equiv. di estere; già fornito in pezzetti) a cui si aggiungono 35 mL di pentanolo e 3.6 g di KOH. Notare che il PET non si scioglie nel solvente.

Usando il mantello riscaldante portare la miscela a riflusso, agitando di tanto in tanto manualmente. Dopo pochi minuti, comparirà una densa sospensione di solido bianco; se l'agitazione diventa impossibile sarà necessario aggiungere altro solvente. Continuare a scaldare a riflusso la miscela per 1h circa.

Raffreddare quindi la miscela a temperatura ambiente, aggiungere al pallone un'ancoretta magnetica, aggiungere sotto agitazione 25 mL di acqua per solubilizzare il solido bianco presente (sale dell'acido tereftalico).

Trasferire quindi la miscela, attraverso un imbuto di vetro con un piccolo batuffolo di cotone, in un imbuto separatore. Separare la fase acquosa da quella organica raccogliendola in una beuta da 250 mL. Lavare la fase organica rimasta nell'imbuto con altri 25 mL di acqua.

Separare la fase acquosa ed aggiungerla a quella raccolta precedentemente.

A questo punto, aggiungere, lentamente e con cautela, HCl diluito (ca 1:10) fino ad acidificare la miscela (se l'acido cloridrico viene aggiunto troppo velocemente, l'acido tereftalico precipita formando cristalli troppo fini per poter essere filtrati in maniera semplice).

Raffreddare quindi la miscela ottenuta in un bagno di ghiaccio, per far precipitare tutto l'acido tereftalico. Procedere quindi alla filtrazione con imbuto di Buchner del solido bianco ottenuto. Lasciare asciugare il solido, pesarlo e calcolare la resa.

IDROLISI DELL'ACIDO POLILATTICO (PLA)

Materiale occorrente

- 5 g PLA
- 10 mL di 6 M HCl
- 100 mL di 1.4 M NaOH in 1:1 etanolo/acqua

Norme di sicurezza

- Usare guanti ed occhiali di protezione
- Lavorare sotto cappa

Procedimento:

Tagliare la bioplastica in pezzi piccoli con le forbici. Più piccoli sono i pezzi, più veloce è la reazione. Pesare 5 g di pezzi di PLA e metterli nella beuta da 250 mL; Misurare, utilizzando il cilindro, 100 mL della soluzione di NaOH 1.4 M in etanolo/acqua 1:1 e aggiungerli alla plastica nella beuta. Aggiungere l'ancoretta magnetica e mettere in agitazione la soluzione sulla piastra riscaldante fino circa 90°C (ridurre il calore se comincia a bollire troppo vigorosamente). Riscaldare e agitare la soluzione fino a completa scomparsa dei pezzetti di PLA. La temperatura dovrebbe essere 80°C – 90°C.

Una volta che i pezzetti di plastica si sono solubilizzati, rimuovere la beuta dalla piastra e metterla in un bagno di ghiaccio fino a raggiungere circa 60°C. La miscela ottenuta è il "PLA idrolizzato". Usando la cartina al tornasole valutare il pH della miscela. Aggiungere lentamente 50 gocce di HCl 6 M nella beuta, mescolare bene e ricontrrollare il valore del pH mediante la cartina al tornasole. Il pH finale deve essere compreso tra 4 e 5. Al valore di pH compreso tra 4 e 5 nella soluzione saranno presenti NaCl e acido lattico. Usando un imbuto trasferire la soluzione in una spruzzetta.

Spruzzare la soluzione su una mattonella o una superficie sporca e pulire con un foglio di carta per verificare l'azione detergente.

DEGRADAZIONE DI PLASTICA E BIOPLASTICA NEL TERRENO

Materiale occorrente

- 1 g di PLA
- 1 g di PET non bio
- 1 g di bioplastica
- 20 g di terreno

Procedimento:

Adagiare su tre piastre di Petri o comunque su tre contenitori di vetro trasparente i frammenti dei tre materiali e ricoprirli con il terreno un po' umido: osservare per un periodo di dieci giorni cosa accade e annotare se ci sono modifiche nell'aspetto del materiale.

Trascorsi i dieci giorni recuperare i frammenti di materiale e dopo averli adeguatamente ripuliti, pesare e valutare la percentuale di degradazione.

Ripetere l'operazione lasciando il materiale a contatto con il terreno umido anche per più tempo se si vuole.

DEGRADAZIONE DI PLASTICA E BIOPLASTICA IN ACQUA

Materiale occorrente

- 1 g di PLA
- 1 g di PET non bio
- 1 g di bioplastica
- Acqua quanto basta a ricoprire il materiale

Procedimento:

Adagiare su tre piastre di Petri o comunque su tre contenitori di vetro trasparente i frammenti dei tre materiali e ricoprirli con la quantità d'acqua necessaria: osservare per un periodo di dieci giorni cosa accade e annotare se ci sono modifiche nell'aspetto.

Trascorsi i dieci giorni recuperare i frammenti di materiale e dopo averli adeguatamente ripuliti, pesare e valutare la percentuale di degradazione.

Ripetere l'operazione lasciando il materiale in acqua anche per più tempo se si vuole.

CONCLUSIONI

L'attività svolta ha offerto molti spunti di approfondimento in quanto è stato possibile ripercorrere la parabola di vita della plastica tradizionale, lo sviluppo industriale e gli aspetti ecologici legati alla produzione di questo materiale innovativo. Non ultimo è stato possibile trattare dei principi della chimica verde e dell'economia circolare nella ricerca di materiali ecocompatibili e infine trattare delle applicazioni anche in campo biomedico dei nuovi biomateriali.

L'attività è stata svolta sia in istituti ad indirizzo chimico che nei licei, compatibilmente con la dotazione di attrezzature e vetreria necessaria alla realizzazione degli esperimenti.