

ID580 - Ambiente/Sostenibilità/Gestione risorse– Laboratorio interattivo

Fun Pataplastica

Da una semplice patata ad una fantastica plastica funzionale e molto di più....

1. Introduzione

Il dibattito sulla crisi climatica e sull'emergenza ambientale si incrociano inevitabilmente con la necessità della società contemporanea di spingersi sempre in avanti nel progresso tecnologico. Mentre la plastica abbandonata nel mare scandalizza l'opinione pubblica, della plastica non potremmo fare a meno nei nostri cellulari, nelle nostre automobili o nelle nostre case.

Il progresso tecnologico, fortunatamente, passa per la ricerca di plastiche alternative, non ricavate dal petrolio ma da fonti biologiche che siano possibilmente **biodegradabili**/o **compostabili**. Il progresso passa anche per l'ingegnerizzazione e la funzionalizzazione di questi materiali per l'ottenimento di applicazioni che siano eco-friendly da un lato e performanti dall'altro.

L'Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali (IPCB-CNR) e l'Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili (STEMS-CNR) propongono un'esperienza pratica guidata nella preparazione di un materiale multifunzionale di origine naturale con nuove proprietà magnetiche "intelligenti". In questo laboratorio gli studenti verranno guidati nella preparazione di un film polimerico a partire dall'amido di patate funzionalizzato/caricato con particelle magnetiche e particelle derivanti dalla valorizzazione di materiali di scarto della lavorazione delle biomasse ad uso alimentare come, ad esempio, la pula di riso. Verranno usati ingredienti facilmente reperibili e sicuri, come l'aceto, il glicerolo, carboni attivi e particelle magnetiche.

Ogni materiale ed ogni processo usato verrà inquadrato nella complessità del "pensare sostenibile" e in una visione più ampia di economia circolare. È veramente sostenibile una plastica da fonti alimentari? Il settore alimentare rischia un giorno essere in competizione

con la produzione di plastica? È possibile ottenere questi o materiali simili usando solo scarti? È veramente possibile raggiungere un modello di economia circolare? A queste e ad altre domande risponderemo nel corso delle nostre attività.

2. Materiali

2.1. Amido

L'amido è una **biomolecola** molto abbondante in natura (seconda solo alla **cellulosa**), si trova nelle patate, in diversi cereali (mais, frumento, grano saraceno, riso, orzo e manioca), nei legumi (fagioli, lenticchie, piselli e ceci) e anche in alcuni frutti (banane, mele e mango).

L'amido appartiene alla famiglia dei **polisaccaridi**, molecole formate da tantissime unità ripetitive di glucosio, prodotti dalle piante durante la fotosintesi clorofilliana a partire dall'anidride carbonica e dall'acqua. L'amido costituisce una vera e propria "riserva energetica" per la pianta e viene conservato sotto forma di granuli (Figura 1a) contenenti due polisaccaridi: l'**amilosio** e l'**amilopectina**, in diversa proporzione tra loro a seconda dell'alimento da cui derivano.

L'amilosio è una molecola lineare, cioè è costituito da una sola catena (nonramificata) di atomi di glucosio. In maniera simile al DNA, l'amilosio tende a compattarsi, formando una struttura molto rigida a elica singola o doppia (Figura 1b)

L'amilopectina, invece, è formata da una struttura altamente ramificata di molecole di glucosio. Ogni molecola di amilopectina contiene circa un milione di molecole di glucosio (anche chiamati "residui"), circa il 5% dei quali forma i punti di diramazione (Figura 1c). Le ramificazioni libere di amilopectina (zona giallina in Fig 1c) si "compattano" a causa dei forti **legami a idrogeno** che si formano tra catene vicine e vanno a formare una **struttura cristallina** molto rigida (evidenziata in giallino in Fig 1c). Le zone contenenti più punti di ramificazione (come quella evidenziata in marroncino in Fig 1c) formano **strutture amorphe**, cioè più disorganizzate. È così che l'amido si organizza in lamelle, come mostra la Figura 1d, dovute all'alternanza tra zone cristalline e zone amorphe.

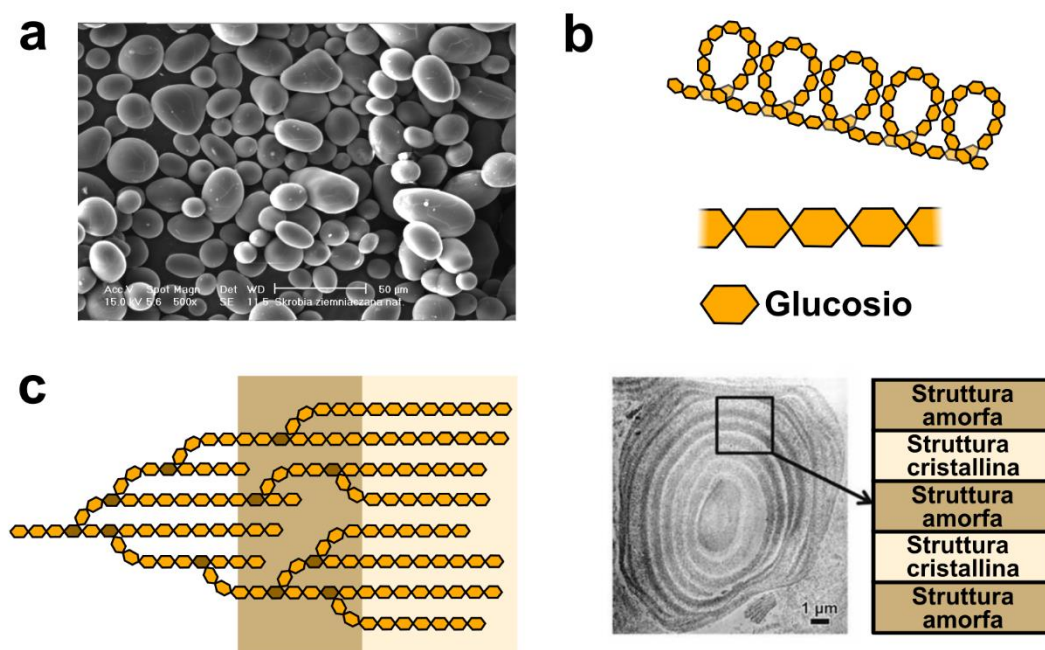


Figura 1–Granuli di amido (a), struttura ad elica dell’amilosio (b), struttura ramificata dell’amilopectina (c), struttura lamellare ottenuta dall’alternanza di zone ordinate (cristalline) e zone caotiche (amorfe) in un granulo di amido

I granuli di amido sono molto compatti e le strutture interne sono molto coese (non ci aspettiamo nulla di meno da un perfetto accumulatore energetico ingegnerizzato dalla natura!!), per questo motivo per “estrarre” l’amido (amilosio e amilopectina) si deve applicare molta forza. Nella seguente procedura grattugeremo, pesteremo in un mortaio e infine tratteremo il tutto con l’acido (non preoccupatevi! È acido acetico, cioè la componente dell’aceto che ne conferisce il suo caratteristico sapore acre e il suo odore pungente) proprio per liberare l’amido dai granuli.

Una volta estratto amilosio e amilopectina avremo già un bellissimo polimero naturale pronto da usare, dovremo solo plasticizzarlo usando il **glicerolo** (paragrafo 2.2.) e funzionalizzarlo, cioè combinarlo con altre molecole o particelle per fornirgli proprietà più interessanti, usando, ad esempio, il **carbone attivo** (paragrafo 2.3.).

2.2. Glicerolo

Il glicerolo (o propan-1,2,3-triolo, la cui formula bruta è $C_3H_8O_3$), come abbiamo detto, è il nostro plasticizzante. I plasticizzanti sono utilizzati in prodotti commerciali per modificare le proprietà dei polimeri. In questo caso il glicerolo si intromette tra le catene polimeriche dell'amilosio e amilopectina (Figura 2) e impedisce loro di allinearsi in file per formare una struttura cristallina, che in un polimero è spesso sinonimo di fragilità e scarsa flessibilità. Il plasticizzante, dunque, aiuta il polimero a comportarsi come una *plastica*.

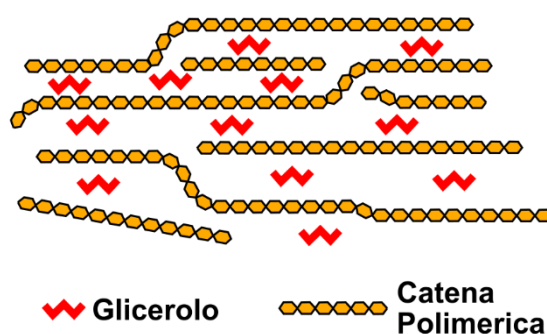


Figura 2 – Meccanismo di azione del glicerolo come plasticizzante per l'amido

Ma il glicerolo è molto di più di un plasticizzante, è una "molecola piattaforma" cioè è una molecola ottenuta attraverso trasformazioni biotecnologiche e/o chimiche di biomasse diverse (essenzialmente carboidrati ed oli) che rappresenta un punto di partenza per prodotti della chimica di base, della chimica fine e dei biocarburanti.

Il glicerolo è un componente dei lipidi (oli e grassi) e dei fosfolipidi o glicolipidi naturali, dai quali viene ottenuto per idrolisi o transesterificazione (chimica o enzimatica). Il glicerolo comunemente si ottiene come principale sottoprodotto del processo di produzione del biodiesel (cioè il diesel ottenuto da fonti rinnovabili quali oli vegetali e grassi animali e non dalla distillazione del petrolio). È una molto molecola versatile tanto che se ne possono elencare oltre 1500 impieghi diversi, ad esempio: nell'industria farmaceutica è utilizzato come solvente e come supporto umido nella produzione di pastiglie; nell'industria alimentare viene utilizzato per la produzione di sciroppi, bibite, prodotti da forno, per la conservazione della frutta e degli ortaggi; nell'industria degli adesivi, delle plastiche e delle

vernici, condensato con acidi (normalmente acido acetico), è utilizzato per produrre resine; nella preparazione degli esplosivi è usato per la produzione di trinitroglicerina; nell'industria tessile e del cuoio è utilizzato nei processi galvanici come agente protettore delle superfici metalliche; nei laboratori microbiologici può servire da terreno di coltura per procedimenti biologici; nell'industria cosmetica è utilizzato per la produzione di sapone e di numerosi prodotti cosmetici (dentifrici, creme, ecc).

2.3. *Carbone attivo*

I carboni attivi sono materiali a base di carbonio molto porosi e con una altissima area superficiale che li rende particolarmente adatti per assorbire gas o piccole molecole. I carboni attivi si ottengono trattando ad alte temperature (tra 600 e 900 °C) e in assenza di aria (pirolisi) il materiale di partenza, seguita da una fase di ossidazione che permette di sviluppare la porosità del materiale ("attivazione" il carbone). La fase di attivazione è di solito effettuata utilizzando vapore, aria e meno frequentemente CO₂, a temperature variabili tra 600 e 900 °C e a volte aggiungendo agenti metallici.

Le proprietà finali di un carbone attivo dipendono significativamente dalla natura del materiale di partenza, che può essere una biomassa, uno scarto di produzione, un materiale a fine vita (anche pneumatici) o un carbone fossile. Le caratteristiche che rendono questi materiali interessanti sono, a parte il basso costo di produzione, l'alta area superficiale, le proprietà elettriche, elettroniche, termiche ed ottiche. I carboni attivi sono molto versatili e possono essere ulteriormente modificati per adattarli ad esigenze specifiche come ad esempio l'uso come catalizzatori, sensori, come materiali adsorbenti e per la preparazione di inchiostri ed elettrodi.

2.4. *Aceto*

L'aceto viene usato nella procedura per aiutare la dissoluzione delle strutture presenti nelle lamelle di amido. Si potrebbero usare anche acidi più forti (come l'acido cloridrico), ma la procedura risulterebbe più rischiosa per gli scienziati meno esperti e soprattutto molto meno "sostenibile". Infatti, l'aceto, normalmente prodotto su scala industriale facendo reagire

metanolo e monossido di carbonio ad alta temperatura e alta pressione, può essere prodotto in modo efficiente usando metodi alternativi e inquadrabili nell'ambito della circolarità e della sostenibilità ambientale. L'acido acetico può essere infatti prodotto attraverso pirolisi di biomasse che, con l'apporto di calore e in assenza d'aria si decompongono rilasciando diverse molecole a basso peso molecolare (vapore acqueo, metanolo, acido acetico, furfurale e idrocarburi) oppure può essere prodotto mediante l'ossidazione di alcool etilico prodotto attraverso la fermentazione di materiali a base di carboidrati come l'amido, lo zucchero o il malto. L'acido acetico trova largo impiego come intermedio di sintesi a livello industriale, infatti viene impiegato soprattutto nella preparazione di acetati metallici (processi di stampa), di materie plastiche come l'acetato di polivinile e l'acetato di cellulosa (preparazione del rayon), degli esteri volatili come l'acetato di etile e l'acetato di amile (vernici e lacche) e dell'acetone.

2.5 Particelle magnetiche

La magnetite è un minerale di colore bruno scuro, semiconduttore, di formula bruta Fe_3O_4 che possiede un comportamento ferromagnetico (cioè si magnetizza sotto l'azione di un campo magnetico esterno e resta a lungo magnetizzato quando il campo si annulla, diventando così un magnete) che diventa antiferromagnetico (perde cioè la possibilità di magnetizzarsi) sopra la sua temperatura di Curie (576 °C). È possibile preparare in molti modi particelle di magnetite a seconda delle caratteristiche che si vogliono ottenere (coprecipitazione, idrotermale, metodo sol-gel, metodo elettrochimico, metodo vapor/aerosol e sonochimico). L'aspetto interessante delle magnetiti è che sono biocompatibili e che possono essere prodotte anche da materiali di scarto come i pneumatici esausti (dalla cui termovalorizzazione si ottengono anche i carboni attivi: una chiusura del ciclo perfetta!).

3. Procedimento per la preparazione della plastica funzionale a partire dalle patate

3.1. Procedura A: estrazione dell'amido dalle patate

Prima di iniziare assicuratevi di avere a portata di mano i seguenti materiali necessari per l'estrazione dell'amido dalle patate:

- ☐ 3 patate medie
- ☐ Una grattugia
- ☐ Un colino
- ☐ Un Becker (o un semplice bicchiere)
- ☐ Acqua distillata
- ☐ Pestello e mortaio

Una volta lavate e asciugate bene le patate, grattugiarle usando la griglia più piccola disponibile. Trasferite nel mortaio il grattugiato ottenuto, che dovrebbe essere stato inumidito dall'acqua rilasciata dalle patate, e pestate ulteriormente fino ad ottenere una poltiglia molto fluida aggiungendo poca acqua (perché? Vedi paragrafo 2.1).

Filtrare poi usando un colino, che tratterrà i residui solidi, raccogliendo in un Becker il liquido contenente l'amido estratto. Lasciando **decantare** il liquido (almeno 10 minuti) senza smuoverlo noterete che sul fondo si forma un **precipitato** biancastro, che è proprio il nostro amido! Ora dobbiamo essere abilissimi, versiamo e gettiamo il liquido scuro cercando di non agitare il Becker per permettere all'amido di rimanere sul fondo. Poi, versiamo **dell'acqua distillata** per disperdere l'amido, lasciamo nuovamente decantare e infine eliminiamo nuovamente il liquido lasciando solo l'amido sul fondo.

Lasciamo seccare il composto per alcuni giorni. Per far evaporare l'acqua residua si può lasciare il Becker all'aria, coperto da un foglio di alluminio bucherellato per evitare che delle impurità finiscano nel nostro amido.

Ed ecco il nostro amido, pronto da usare per ottenere un film plastico.

3.2. Procedura B: Preparazione delle particelle magnetiche

Prima di iniziare assicuratevi di avere a portata di mano i materiali necessari per la preparazione delle particelle magnetiche:

- ☐ Lana di ferro da restauratore (reperibile in ferramenta)
- ☐ Accendino
- ☐ Contenitore in alluminio (es pirottino per forno)
- ☐ Mortaio e pestello
- ☐ Colino o setaccio a maglie strette

Il procedimento è molto semplice, ma siccome è necessario usare una fiamma, si deve prestare molta attenzione. La lana di ferro deve essere leggermente sfibrata con le mani e posta in un contenitore in alluminio (un qualsiasi recipiente resistente alle alte temperature andrà benissimo). Con un accendino date fuoco alla lana di ferro: osserverete delle piccole scintille propagarsi lungo i fili, come nelle stelle filanti di Natale (che infatti contengono lana di ferro per propagare l'accensione). Una volta estinte le scintille (potete ripetere il procedimento) e dopo avere atteso per qualche minuto il raffreddamento, riducete in polvere le fibre con un mortaio, filtrate il tutto con un colino ed ecco, la vostra polvere magnetica è pronta!

3.3. *Procedura C: Preparazione del carbone attivo*

Prima di iniziare assicuratevi di avere a portata di mano i materiali necessari per il trattamento del carbone attivo:

- ☐ Carbone attivo
- ☐ Mortaio e pestello

Il carbone attivo deve essere pretrattato prima di essere utilizzato per funzionalizzare il film di plastica. Il trattamento è molto semplice e consiste nel pestarlo finemente fino a ridurlo ad una polvere impalpabile. Ricordate di indossare sempre la mascherina durante questo procedimento perché questa polvere è veramente molto fine!

3.4. Procedura D: Preparazione del film polimerico funzionalizzato

Prima di iniziare assicuratevi di avere a portata di mano i seguenti materiali necessari per la preparazione del film polimerico.

- ☐ Amido di patate ottenuto nella procedura A
 - ☐ Glicerolo
 - ☐ Aceto
 - ☐ Particelle magnetiche ottenute nella procedura B
 - ☐ Carbone attivo ottenuto nella procedura C
 - ☐ Un Becker da 250 mL (in lab) o un pentolino (a casa)
 - ☐ Piastra riscaldante (in lab) o fornello (a casa)
 - ☐ Agitatore magnetico (in lab) o cucchiaino (a casa)
 - ☐ Una bilancia
 - ☐ Colorante alimentare (opzionale)
 - ☐ Una (o più) piastre di Petri (in lab) o un piatto rivestito da carta forno (a casa)
- E per divertirvi:
- ☐ Magnetini
 - ☐ Tester (opzionale)

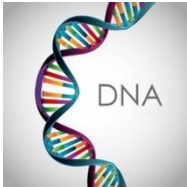
Una volta secco, potremo processare il nostro amido di patate per trasformarlo in un film di materiale plastico. Mischiamo 4g di amido, 4g di aceto, 4g di glicerolo e 16g di acqua in un Becker da 250 mL. (Ovviamente possiamo usare diverse quantità, tenendo presente che il rapporto amido:aceto:glicerolo:acqua deve essere di 1:1:1:4). Misceliamo gli ingredienti con una spatolina oppure usando un agitatore magnetico e riscaldando a 80°C per circa 15 minuti. Attenzione, l'acqua non deve evaporare del tutto (Stiamo molto attenti a questo passaggio specialmente se stiamo usando un fornello casalingo, la cui temperatura non è ben regolabile).

Il fluido ottenuto è molto **viscoso**, possiamo dividerlo in quattro parti uguali (anche ad occhio) versandolo in quattro **piastre Petri**. Nella prima lasciamo il composto tal quale, alla seconda aggiungiamo una o due gocce di colorante alimentare, alla terza aggiungiamo le particelle magnetiche preparate al punto B e alla quarta aggiungiamo la polvere fine di carbone vegetale preparata al punto C (le ultime due preparazioni sono mostrate nel video).

Lasciamo seccare il preparato per 1-2 giorni, il risultato sarà un bel film plastico funzionale. Proveremo a “testarlo” insieme e ne scopriremo le strepitose proprietà!

4. Glossario

Termine	Spiegazione
Biodegradabile	Si dicono Biodegradabili quei materiali organici (anche plastiche) che ad opera di microorganismi vengono scomposti in sostanze semplici come acqua (H₂O), metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂). Secondo la Normativa Europea, la biodegradazione deve raggiungere il 90% del materiale entro 6 mesi. Attenzione! Non tutti i materiali biodegradabili sono compostabili. Per approfondire (ed esercitarsi in inglese): https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/biodegradable-waste_en
Compostabile	Si dicono Compostabili invece quei materiali che biodegradandosi producono il compost, un terreno molto ricco in sostanze nutritive utile come fertilizzante per l'agricoltura. Secondo la Normativa Europea per essere compostabile la biodegradazione deve coinvolgere il 90% del materiale entro 3 mesi e inoltre il compost risultante deve superare i test di eco-tossicità, cioè non contenere sostanze tossiche per le piante che andrà a concimare.  Cerca questo Logo per scoprire se una busta di plastica può essere gettata nella frazione organica qui in Italia.

Biomolecola	Una biomolecola è un composto chimico presente negli organismi viventi, essenziale per uno o più processi biologici. Le biomolecole sono molecole organiche, quindi basate soprattutto su carbonio e idrogeno, ma anche su ossigeno, azoto e fosforo. Alcuni esempi di biomolecole sono: proteine, carboidrati, lipidi, vitamine, ormoni, ecc...  Il DNA è una Biomolecola.
Cellulosa	La cellulosa è una biomolecola, appartenente alla classe dei polisaccaridi; infatti, è costituita da un gran numero di molecole di glucosio legate fra loro. Molti materiali naturali sono basati sulla cellulosa tra cui il cotone, il legno e la paglia.
Legami a Idrogeno	 È un legame debole, che viene a formarsi tra molecole nelle quali l'idrogeno è legato ad un atomo molto elettronegativo (come l'ossigeno, l'azoto o il fluoro) che attrae a sé, senza estrarlo, l'elettrone dell'idrogeno. Questo fenomeno crea undipolo, cioè una deformazione nella carica elettrica della molecola, con una piccola carica positiva sull'idrogeno e una piccola carica negativa sull'elemento al quale è legato. Ciò permette a molecole vicine di formare dei legami tra loro: l'idrogeno (leggermente positivo) di una molecola si "sente attratto" dall'ossigeno (leggermente negativo) di una molecola vicina. Nonostante sia un legame cosiddetto "debole" (meno forte dei legami ionico e covalente), quando se ne formano tanti vicini si generano dei fenomeni spettacolari come i cristalli di ghiaccio, l'adesione del geco a tutte le superfici, la doppia elica del DNA e anche quella dell'amilosio, presente nell'amido!
Struttura Cristallina	Una struttura cristallina è un'"impalcatura" di atomi o molecole che si dispongono in maniera regolare e ordinata, come un cristallo di quarzo. Nei polimeri, le catene lineari possono avere un alto grado di cristallinità, mentre quelle ramificate hanno difficoltà nell'organizzarsi ordinatamente. I segmenti lineari di amilosio nell'amilopectina tendono a compattarsi, anche grazie ai legami idrogeno, e formano zone cristalline.
Struttura Amorfa	Una struttura amorfa è formata da atomi o molecole disordinate, che si organizzano e si aggregano in maniera caotica, come nel vetro. Le zone dell'amilopectina contenenti molte ramificazioni non riescono ad organizzarsi in maniera regolare e dunque si dicono amorfe.
Decantare	In chimica decantare vuol dire lasciare che una sostanza, solida o liquida, dispersa in un liquido di diversa densità, si accumuli verso il basso o verso l'alto (a seconda della sua densità relativa). Nel nostro caso, l'amido, più pesante dell'acqua si accumula sul fondo del Becker.

Precipitato	Un precipitato è una sostanza, precedentemente sciolta in un liquido, che per effetto della forza di gravità viene accumulata sul fondo del contenitore. Il nostro precipitato è proprio l'amido, che si raccoglie sul fondo del Becker.
Acqua distillata	L'acqua distillata è un'acqua quasi completamente priva di impurezze, come microorganismi, sali minerali e gas disciolti. Si ottiene tramite un processo di distillazione: l'acqua viene fatta bollire e il vapore viene condensato in un altro contenitore, un'ulteriore purificazione può avvenire con il passaggio attraverso filtri micrometrici.
Viscosità	La viscosità è una grandezza fisica che misura la resistenza di un fluido allo scorrimento. Ad esempio, il glicerolo usato nell'esperimento ha una viscosità maggiore di quella dell'acqua.
Piastra Petri	Una piastra petri (<i>petridish</i>) è un recipiente cilindrico con un bordo molto basso, può essere in vetro o in plastica. In biologia è usato per la crescita di colture cellulari e permette di osservare a occhio nudo la crescita di colonie batteriche.