

Chimica, Materiali e Sostenibilità

Teresa Cecchi

ITT "G. e M. Montani", Fermo

e-mail: cecchi.teresa@istitutomontani.edu.it

Abstract. Sustainability is one of the most used words in communication and perhaps it is sometimes abused. It is certainly unachievable without the chemical skills necessary for the transition from the linear economy (plunder, consume, throw away) to the circular one (recovery, transform, reuse), that is the cornerstone of the ecological transition. The laboratory teaching practice is renewed by taking inspiration from the 17 objectives of the 2030 Agenda. Making students aware of the key role of chemistry in harmoniously attending to the planet, profit and people is fully a civic education action.

Keywords: CLIL; green HPLC; depolimerizzazione del PLA; struccante da scarti alimentari; scale-up industriale; SDGs

1. Introduzione

Sostenibilità è una parola che ha invaso le nostre vite, molto usata e spesso abusata.

L'etimologia di questa parola è illuminante. In latino *sustĭnĕre* significa "reggere, sostenere, sopportare". La descrizione esatta di un futuro sostenibile non è semplice; il 1972 rappresenta una pietra miliare: alla conferenza dell'ONU sull'Ambiente Uomo tenutasi a Stoccolma, l'intera comunità internazionale ha concordato sul concetto fondamentale che sviluppo e ambiente possono essere gestiti in modo reciprocamente vantaggioso. Nello sviluppo storico del concetto di Sostenibilità dobbiamo compiere due balzi in avanti di 20 anni per fare tappa nel 1992 alla conferenza dell'ONU a Rio de Janeiro con la formulazione dell'Agenda 21 e arrivare al 2012 alla conferenza ONU sulla Sostenibilità. Solo tre anni dopo, il 25 settembre 2015, l'ONU definisce nell'Agenda 2030 i 17 obiettivi (SDGs), dettagliati in 169 target, da raggiungere entro il 2030 per garantire al nostro pianeta e alla struttura sociale dell'umanità la piena Sostenibilità. Un sistema è sostenibile se può essere mantenuto a un certo livello indefinitamente. Affinché ciò accada gli aspetti ambientali, sociali ed economici debbono

essere considerati e correttamente gestiti. I tre pilastri della sostenibilità adeguano quindi il concetto stesso di profitto (“bottom line”): per ogni linea produttiva sostenibile serve scrivere una “Triple bottom line: Planet, People, Profit” [1].

La sostenibilità è destinata a non essere praticata senza le variegate competenze chimiche necessarie per il passaggio dall’economia lineare, che segue lo schema “depredo, consumo, uso e getto” a quella circolare, caratterizzata invece dalla strategia “recupero, trasformo, riutilizzo, restituisco alla biosfera”. Le pratiche sostenibili diventano il perno della transizione ecologica e digitale.

Il presente contributo illustra attività didattiche concrete, ispirate dai 17 obiettivi di sviluppo sostenibile dell’Agenda 2030 e dalle strategie dell’economia circolare; sono interessate tutte le tre discipline che caratterizzano il corso dell’articolazione Chimica e Materiali presso un Istituto Tecnico Tecnologico; l’approccio didattico è l’Inquiry based learning (Ask, Investigate, Create, Discuss, Reflect): gli studenti sono co-progettisti delle procedure sintetiche o analitiche, razionalizzando ogni passaggio. La modalità didattica CLIL ha aiutato i ragazzi a sentirsi “citizens of the world” dato che i SDGs sono certamente di respiro planetario e il lavoro in teams internazionali sarà il loro futuro.

2. Parte sperimentale

2.1. Chimica organica e biochimica

Materiali: un bicchiere di PLA o di PP, acido citrico, NaOH 1,4 M in etanolo/acqua 1:1 (la soluzione può essere ottenuta usando in parte la basicità della cenere del camino anche se, in tal caso, bisogna tener conto della variabilità della sua composizione il che non rende standardizzabile l’esperienza), beuta da 250 ml, cartina al tornasole, bacchetta di vetro, piastra riscaldante con agitatore magnetico, termometro digitale, ancoretta magnetica, contagocce, vetrino da orologio, guanti, occhiali, camice.

Metodo: tagliare i bicchieri in striscioline larghe circa 1 cm e lunghe 5 cm, evitando le parti spesse del bicchiere. Pesare 2,5 g di pezzetti di PLA e metterli in una beuta da 250 ml. Misurare 50 ml di una soluzione di NaOH 1,4 M in etanolo/acqua 1:1 e versarli nella beuta contenente i pezzetti di PLA. Riscaldare a una temperatura di 80 °C sotto agitazione fino a completa dissoluzione dei pezzetti di PLA (5 – 10 min) avendo cura di coprire la beuta con un vetrino da orologio per ridurre l’evaporazione. La soluzione fortemente basica contiene il lattato di sodio. Una volta lasciata raffreddare, usando la cartina al tornasole, valutare il pH della miscela (pH ~ 11). Aggiungere lentamente acido citrico in polvere, fino a raggiungere un valore di pH finale di circa 4. A tale valore di pH la soluzione contenente acido lattico è un detergente ad azione disinfettante.

Note particolari: si può fare un confronto con un bicchiere in PP per poter osservare la diversa biodegradabilità.

2.2 Chimica analitica e strumentale

Materiali: etanolo grado LC-MS, acqua ultra-pura (18 MOhm × cm), banconote o polvere derivante dalle banconote, HPLC-MS, guanti, occhiali, camice.

Metodo: corsa cromatografica in gradiente.

2.3 Tecnologie chimiche industriali

Materiali: scarti di legumi, bucce di arancia, etanolo alimentare, acido citrico alimentare, glicerina alimentare, cartina al tornasole, piastra riscaldante, agitatore orbitale, bagno ad ultrasuoni, guanti, occhiali, camice.

Metodo per l'estrazione delle pectine dalle bucce d'arancia

Aggiungere a 100 g di albedo (strato interno di colore bianco della buccia degli agrumi) 30 ml di alcol etilico, 270 ml di acqua distillata e acido citrico (ca. 2,5 g); controllare quindi il pH (che deve essere fra 3 e 4) tramite cartina tornasole. Portare a ebollizione e ricontrrollare il pH dopo 1h; nel caso in cui non dovesse più essere compreso tra 3 e 4 aggiungere altro acido citrico e lasciar bollire per altri 40 minuti. Lasciare raffreddare. Filtrare con un colino a maglie larghe, centrifugare il filtrato che viene messo in un becher contenente 75 ml di alcol etilico e posto sotto agitazione, evitando che il solido si depositi nel fondo. Estrarre i filamenti gelatinosi di pectina dal becher servendosi di una bacchetta di vetro. Mettere in stufa (temperatura 30 °C) per almeno 2 ore per eliminare gli eccessi di alcol.

Metodo per l'estrazione delle saponine dagli scarti di legumi

In una beuta mettere 100 g di scarti di legumi in 300 ml di acqua potabile e lasciare riposare per 2 ore. Porre su agitatore orbitale per 1,5 ore, decantare per 7 minuti e trasferire la fase liquida in un'altra beuta.

Preparazione dello struccante

Aggiungere 1,3 g di pectina e 1,5 g di glicerina a 10 ml di filtrato, sonicare per 5 minuti in modo da ottenere una miscela omogenea; aggiungere eventualmente 1 goccia di altri oli essenziali (rosmarino, lavanda) per aumentare l'azione antimicrobica. Confezionare il tutto come struccante.

3. Risultati e discussione

3.1. Chimica organica e biochimica (L'azione didattica sotto descritta è in linea con i SDGs 3, 4, 8, 9, 11, 12, 13, 15 dell'Agenda 2030)

3.1.1. Ask

Nella fase motivazionale gli studenti, mediante brainstorming, immagini e discussioni di gruppo, sono stati sollecitati a riflettere sulla definizione ufficiale di bioplastica che, per esser tale, non deve necessariamente essere biodegradabile, sulla diffusione vertiginosa delle bioplastiche nelle nostre vite e sulla comparazione di plastiche e bioplastiche circa la loro destinazione d'uso. Abbiamo scelto di

focalizzarci sulla sintesi di una bioplastica monouso diventata molto comune, il PLA, e sul suo fine vita. Si sono studiate le varie strategie sintetiche del PLA [2, 3] scegliendo quella storicamente più antica, ma didatticamente più efficace, cioè la semplice policondensazione dell'acido lattico, consci che avremmo sintetizzato un PLA con un basso peso molecolare. Sono state effettuate prove di densità, durezza, resistenza a trazione, e sono stati eseguiti gli spettri IR e i cromatogrammi dello spazio di testa dei campioni.

Dai dati in letteratura [4] risulta che il PLA necessita di impianti industriali ad hoc per esser compostato in tempi ragionevoli e non ci sono impianti per il riciclo chimico del PLA. Da qui è partita la domanda stimolo caratteristica dell'Inquiry based learning: possiamo progettare un metodo sostenibile per evitare che il PLA diventi solamente compost in un impianto industriale ad alta temperatura? Possiamo ritornare al monomero di partenza, utile sia per una nuova polimerizzazione che per altri usi della chimica verde?

3.1.2. Investigate

Ragionare sulla natura dei legami esterei che realizzano lo scheletro del polimero ha permesso la verifica e il consolidamento dei prerequisiti necessari per progettare la depolimerizzazione del PLA. Era chiara la necessità di un'idrolisi alcalina. L'etimologia araba dell'aggettivo "alcalina" rimanda alla "cenere di piante", per cui si è chiesto agli studenti di portare a scuola la cenere del camino e di usarla come reattivo.

3.1.3. Create

Lisciviando la cenere si è ottenuto il reattivo a costo zero per la depolimerizzazione del PLA sintetizzato; tuttavia si è notata una notevole variabilità nella capacità di tale soluzione di idrolizzare il PLA in tempi ragionevoli, per cui si è riflettuto sulla non costanza delle caratteristiche dei reattivi derivanti dai rifiuti; si è quindi deciso di standardizzare il metodo utilizzando la soluzione idroalcolica dell'idrossido di sodio, dato il basso costo del reattivo; in parallelo si è constatato che un bicchiere in PP non veniva depolimerizzato e il fenomeno è stato con facilità razionalizzato sulla base della diversa natura del legame nei due polimeri, ottenuti peraltro con due meccanismi diversi, policondensazione per il PLA e poliaddizione, per il PP (Figura 1). Dopo la completa depolimerizzazione si è proceduto ad acidificare la soluzione risultante mediante l'acido citrico ottenibile dagli scarti alimentari.



Figura 1. Idrolisi green del PLA

3.1.4. Discuss and reflect

La soluzione contenente acido lattico e citrato di sodio è efficace come detergente ad azione disinfettante.

3.2. Chimica analitica e strumentale (L'azione didattica sotto descritta è in linea con i SDGs 3, 4, 8 dell'Agenda 2030)

3.2.1. Ask

Durante il brainstorming si è ragionato sulle più diffuse applicazioni HPLC che prevedono l'uso di colonne in fase inversa, apolari, con fasi mobili polari. L'eluente è classicamente una miscela di acqua e metanolo o acetonitrile. Questi due solventi sono così largamente utilizzati in quanto presentano un'ottima trasparenza nel VIS e UV, una completa miscibilità con l'acqua dando soluzioni a bassa viscosità che generano basse pressioni nel sistema cromatografico strumentale. Tali soluzioni sono inoltre inerti verso tutto il circuito idraulico cromatografico. Tuttavia, entrambi i solventi sono pericolosi sia per l'uomo che per l'ambiente, in quanto sono tossici, infiammabili e volatili. La domanda stimolo è stata: si può trovare un sostituto green del metanolo o dell'acetonitrile?

3.2.2. Investigate

Richiamando le conoscenze pregresse gli studenti realizzano che l'etanolo ha una pressione di vapore inferiore a quella del metanolo; dunque, a parità di condizioni, la quantità inalata dall'operatore è minore; dal punto di vista economico, è un solvente disponibile con un costo di approvvigionamento e di smaltimento inferiore rispetto all'acetonitrile e al metanolo; inoltre l'etanolo

viene considerato un solvente GRAS (Generally Recognized As Safe), data la sua presenza anche nella dieta di molte popolazioni. Infine, è sicuramente ottenibile da un vasto range di scarti alimentari per fermentazione degli zuccheri; quindi, è un solvente “biobased”.

Gli studenti, a gruppi, si sono scambiati idee sui parametri qualitativi e quantitativi da individuare per misurare la greenness di una procedura analitica. I quattro parametri fondamentali individuati nella discussione per stimare l’ecocompatibilità dei metodi analitici sono stati: (i) la quantità dei reattivi, (ii) i rifiuti generati; (iii) il consumo energetico, (iv) i rischi per la salute, per l’ambiente e la sicurezza. Quanto da loro proposto è stato messo a confronto con le varie metriche attualmente in uso, grafiche o numeriche, illustrandole come segue.

Lo strumento grafico di valutazione GAPI (Green Analytical Procedure Index) sfrutta una rappresentazione grafica di cinque pentagoni, ciascuno relativo a una fase della metodologia analitica; i pentagoni sono suddivisi in parti che possono essere verdi o gialle o rosse in base alla gravità dell’impatto sulla salute, sicurezza, ambiente, energia e rifiuti.

Lo strumento grafico di valutazione NEMI (National Environmental Methods Index) prevede una rappresentazione grafica definita da un cerchio con quattro quadranti, ciascuno relativo a un aspetto importante per la greenness del metodo: (i) assenza di sostanze persistenti, bioaccumulabili, tossiche, (ii) assenza di sostanze corrosive, (iii) assenza di sostanze pericolose, (iv) rifiuti minori di 50 g. Se un metodo rispetta i criteri sopra elencati, il quadrante relativo a tale aspetto è verde, se ciò non si verifica il quadrante rimarrà incolore.

La valutazione numerica su scala ecologica ESA (Environmental Scale Assessment) si basa sulla sottrazione, da un totale pari a 100 punti relativi ad un metodo ideale, di punti di penalità per: (i) reagenti che potrebbero causare problemi ambientali o sanitari, (ii) quantità di energia consumata, (iii) trattamento analitico dei rifiuti. Un metodo accettabile da questo punto di vista deve avere un punteggio maggiore di 50.

La valutazione numerica e grafica AGREE (Analytical GREENness metric) si basa su 12 aspetti significativi per la greenness, esemplificati dall’acronimo SIGNIFICANCE; ogni sezione ha un colore che va dal verde al rosso come per la scala GAPI, ma la valutazione restituisce infine anche un valore numerico dato che il colore corrisponde anche ad un rating fra 0 (rosso) e 1 (verde).

3.2.3. Create

È, quindi, iniziato lo studio della sostituzione del metanolo con l’etanolo come eluente HPLC durante l’ottimizzazione di una analisi importante per l’educazione alla salute e alla legalità, riguardante la quantificazione dei residui di cocaina [5] nelle banconote e nella polvere delle banconote (Figura 2).

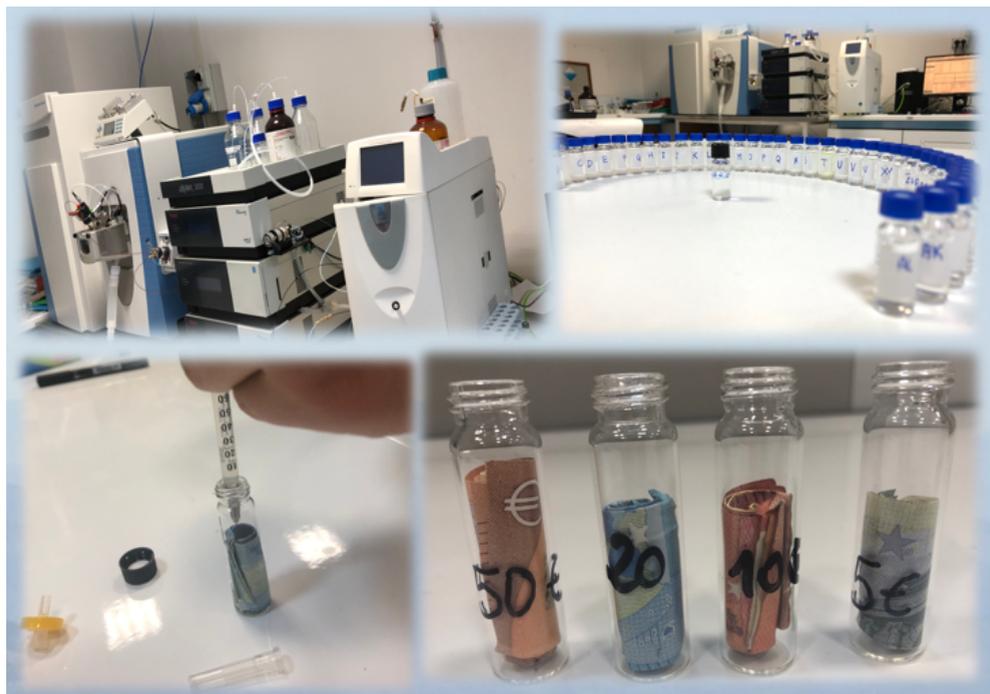


Figura 2. Analisi della cocaina nelle banconote

3.2.4. *Discuss and reflect*

Sia in fase estrattiva che durante le corse cromatografiche la performance è stata comparata riconoscendo, inoltre, che il maggior potere eluotropo dell'etanolo rispetto al metanolo ha anche comportato tempi minori per la corsa cromatografica e, dunque, una minore produzione di rifiuti e un minor costo dell'analisi.

Si è poi studiata l'influenza del passaggio al metanolo in ogni scala studiata e si è calcolato l'indice AGREE riportato in figura 3 con un risultato ottimo dal punto di vista numerico e molto "verde" dal punto di vista visivo; l'unico aspetto con un rating rosso è relativo al fatto che l'analisi deve essere svolta in laboratorio, ma tale circostanza non è migliorabile dato che il cromatografo non è trasportabile.

Analytical Greenness report sheet

01/02/2024 12:21:03

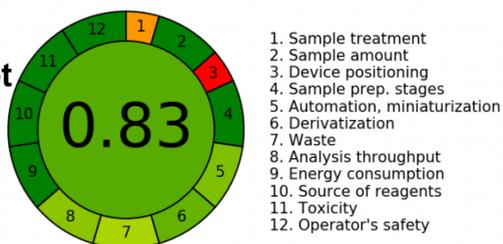


Figura 3. Valutazione del metodo secondo la scala AGREE

3.3. Tecnologie chimiche industriali (L'azione didattica sopra esposta è in linea con i SDGs 3, 4, 8, 9, 13, 14, 15 dell'Agenda 2030)

3.3.1. Ask

La fase motivazionale ha riguardato un altro argomento affine alle studentesse e agli studenti: la cosmesi. La scoperta guidata ha portato a focalizzarci su uno struccante sostenibile utilizzando solo scarti alimentari di aziende locali impegnate nel ripristino della biodiversità, in un ecosistema montano, attraverso la coltivazione di colture tipiche della Dieta Mediterranea. La sfida lanciata era relativa alla possibilità di ottenere un cosmetico sicuro, senza componenti di origine fossile che possa essere facilmente prodotto anche in casa.

Gli studenti sono stati esposti al ruolo cruciale della chimica verde per la sostenibilità; la bioraffineria è l'incarnazione dell'economia circolare e, in questo quadro, si sono cercate alternative sostenibili e salutari agli ingredienti tossici e/o a base fossile di uno struccante.

3.3.2. Investigate

Da un'accurata ricerca bibliografica, anche mediante Google Scholar, abbiamo studiato come viene prodotto uno struccante, per valutare la sicurezza dei suoi ingredienti e per studiare il ruolo dei composti attivi. Si è scoperto che molti sono di origine fossile. Dai risultati del progetto PSR Marche "Economia Circolare in Agricoltura: la corretta gestione dei rifiuti organici e della produzione di biomassa per aumentare la fertilità del terreno nelle Marche" [6], al quale il Montani ha partecipato come partner scientifico, si è scoperto che la biomassa offre molecole "monumentali" e l'uso di principi attivi da biomassa è stata la nostra priorità; per evitare la competizione fra l'uso alimentare o industriale delle colture, sono state esplorate varie fonti di principi attivi con funzione analoga a quella dei componenti di origine fossile.

Si è chiesto agli studenti di documentarsi circa la legislazione europea per quanto riguarda l'uso della biomassa [7].

Dallo schema in figura 4 è chiaro che, prima di inviare gli scarti alimentari

ai processi fermentativi, o di termovalorizzazione, o utilizzarli nel compostaggio, è auspicabile recuperare molecole ad altissimo valore aggiunto. Nel nostro caso servono tensioattivi, addensanti e antimicrobici.

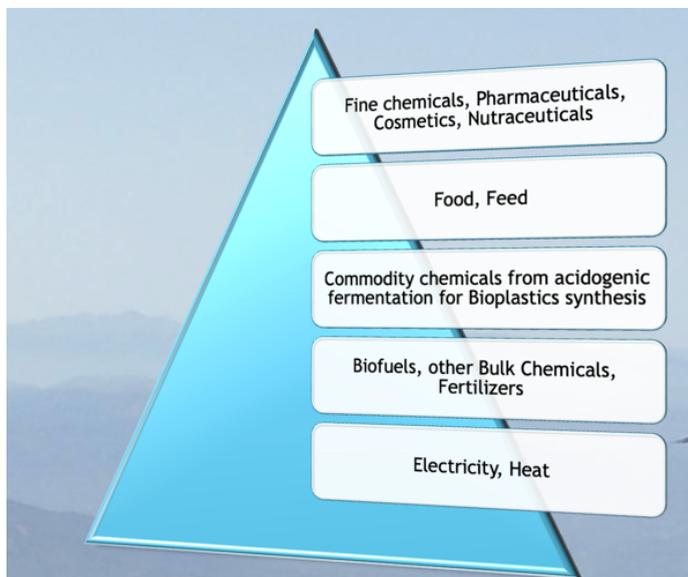


Figura 4. La piramide della biocascata: la biomassa va usata sequenzialmente e nel modo più efficiente estraendo prima i prodotti a più alto valore aggiunto

3.3.3. Create

Avendo in mente quali composti erano necessari per la formulazione del prodotto, le competenze di chimica organica e chimica degli alimenti sono state applicate per selezionare possibili composti funzionali a valore aggiunto provenienti dai rifiuti alimentari. Le saponine presenti nei legumi sono ottime sostitute dei tensioattivi; la pectina dalla buccia degli agrumi può sostituire emulsionanti e addensanti di origine fossile e le microplastiche, che un tempo venivano aggiunte; gli oli essenziali sono invece ottimi antimicrobici. Si è quindi passati alla progettazione del prodotto.

Si sono provati praticamente diversi protocolli con vari solventi GRAS (Generally Accepted As Safe) e diversi pH per l'estrazione di saponine dagli scarti di legumi e della pectina dalla buccia d'arancia; si è quindi ottimizzato il protocollo finale utilizzando solo acqua nel primo caso e una miscela di alcol etilico ed acqua nel secondo.

Si sono mescolati gli ingredienti estratti dagli scarti alimentari con glicerolo, altra molecola biobased molto umettante, per aumentare la scorrevolezza e la lubrificazione.

Si è verificata la stabilità microbiologica tramite il metodo pour plate e non si sono rivelati necessari i conservanti, data l'azione antimicrobica degli oli essenziali.

Gli studenti hanno documentato tutte le fasi del progetto (Figura 5) e si sono tuffati nella realizzazione del video (**qui visionabile**). La musica del video è stata creata da uno di loro dal momento che il gruppo ha sempre valorizzato le competenze specifiche di ciascun componente.



Figura 5. Produzione dello struccante da scarti alimentari

3.3.4. Discuss

Sostituendo i tensioattivi di origine fossile con le saponine degli scarti delle leguminose, i silossani e le microplastiche con la pectina delle bucce d'arancia che donava anche oli essenziali antimicrobici, non si sono rivelati necessari conservanti tossici, fragranze e sostanze di sintesi.

Abbiamo utilizzato concetti di chimica analitica per studiare la resa estrattiva e il ruolo del pH, abbassato tramite l'aggiunta di acido citrico ottenuto dagli scarti degli agrumi.

Si è testata l'efficacia dello struccante e la sua accettazione da parte dei consumatori (tramite un modulo Google condiviso con gli studenti).

3.3.5. Reflect

Si sono studiati i flussi di energia e di materia per un impianto di estrazione delle saponine da scarti di legumi e della pectina dalle arance.

Lo scale-up del processo dalla scala di laboratorio al livello industriale è stato concepito sia dal punto di vista matematico (scale-up e bilanciamento dei flussi di materiali ed energia) che dal punto di vista tecnico (sono stati scelti componenti idonei dell'impianto chimico). L'impianto industriale finale progettato per la sintesi dello struccante è una vera e propria bioraffineria ispirata ai principi dell'economia circolare e della Chimica Verde.

Si è studiato lo scale-up industriale (UNESCO Project Planner) con imprese locali e organizzazioni a sostegno dell'imprenditorialità giovanile nella Città Learning UNESCO di Fermo, anche con il supporto di un professionista esterno per lo sviluppo del business plan. L'impianto chimico è stato progettato in CAD e può essere osservato in figura 6.

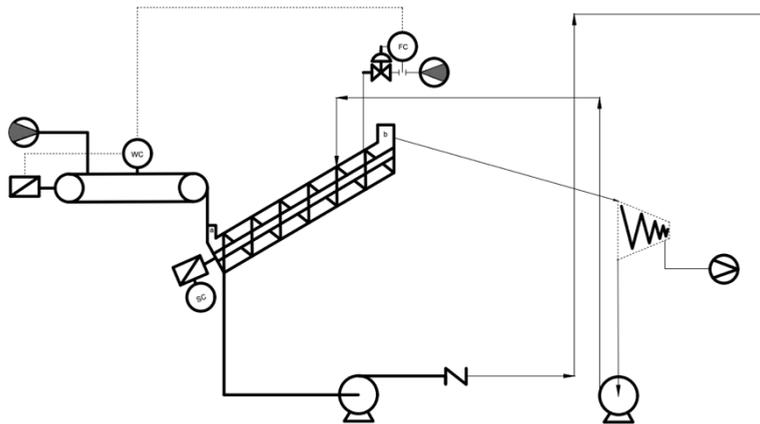


Figura 6. Scale up della procedura laboratoriale: impianto chimico della bioraffineria per ottenere il cosmetico dagli scarti alimentari

Per questi meriti il progetto, **qui discusso dagli studenti in inglese (modalità CLIL)**, è stato selezionato a livello Europeo nell'ambito della competizione di Science on Stage Europe "Future League" [8] ed è stato presentato a Berlino dal 23 al 24 Novembre 2023.

4. Conclusioni

La pratica della chimica presso l'ITT Montani di Fermo è stata ispirata fin dal primo momento dall'Agenda 2030. Per quanto riguarda il Dipartimento di Chimica, gli studenti sono stati coinvolti nella produzione di bioplastiche da scarti alimentari, nello studio dell'inquinamento da microplastiche a livello molecolare, nel riciclo chimico della plastica, nello studio degli antiossidanti e nutraceutici, nel recupero di metalli preziosi da rifiuti elettronici e altri rifiuti, nell'analisi di sostanze d'abuso in matrici non convenzionali come le banconote o alimenti, nel rilevamento delle impronte digitali molecolari di sostanze volatili per l'autenticazione degli alimenti, per la descrizione molecolare della biodiversità o del patrimonio culturale.

Le pratiche consolidate sono state riviste e le nuove attività, sviluppate mediante creatività e inferenza, ricadono perfettamente nelle cinque aree di azione prioritarie dell'Educazione per lo sviluppo sostenibile (ESD) di seguito riportate.

1. *Attuare politiche avanzate*: la progettualità pilota sopra esposta ha portato a integrare la Sostenibilità nel curriculum di istituto; dal 2023-24 è stato infatti istituito un nuovo corso curricolare di Chimica Verde per la Sostenibilità ed Outreach.
2. *Trasformare gli ambienti di apprendimento*: gli studenti agenti di cambiamento sono diventati GenB Ambassador nell'ambito del progetto Generation Bioeconomy e hanno pianificato attività di sensibilizzazione verso i più giovani circa il ruolo cruciale della chimica per la bioeconomia circolare con attività di edutainment, gamification, teatro.
3. *Sviluppare le capacità degli educatori*: adottare una pratica didattica attenta al "waste to treasure approach" significa riuscire a fornire alla società professionisti formati per un approccio competente all'economia circolare.
4. *Realizzare empowerment e mobilitazione degli studenti*: stimolare l'imprenditoria giovanile mediante il Project Planner dell'UNESCO e il lancio della startup rende gli studenti protagonisti orgogliosi del loro processo di apprendimento.
5. *Accelerare l'azione a livello locale*: interagire con le istituzioni (Banca, Rotary club) le imprese locali nella nostra Learning City (Fermo) e altri attori nazionali (GenB, BIOVOICES etc.) crea legami e opportunità di lavoro, promuovendo partenariati e scambiando ispirazione, know-how e migliori pratiche.

L'attività didattica è importante per gli studenti, ma anche per tutta la società perché la loro formazione e competenza chimica plasmerà il nostro

futuro nella transizione ecologica che stiamo vivendo. Rendere gli studenti consci del ruolo chiave della chimica per poter essere attenti armonicamente al pianeta, al profitto ed alle persone è pienamente un'azione di educazione civica.

Il coinvolgimento degli studenti è stato molto elevato durante tutte le fasi del rinnovamento della pratica laboratoriale che è in corso all'ITT Montani: la loro attenzione, curiosità, interesse, ottimismo e passione hanno favorito l'apprendimento. La loro motivazione ad apprendere è stata aumentata dall'idea di avviare una propria startup. Hanno dedicato molta energia fisica e psicologica all'esperienza del "learning by doing" per affrontare problemi e risultati inattesi.

Gli studenti si sono a volte incontrati online anche senza la supervisione dell'insegnante e questo è molto remunerativo per un docente, perché significa che si è contagiato il desiderio di produrre e non solo riprodurre il "sapere".

Gli studenti si sono impegnati nella documentazione delle esperienze di apprendimento e si sono tuffati con entusiasmo nella realizzazione di vari video, nonché nella progettazione di una Escape Room centrata sulla sostenibilità presentata al Maker Faire a Roma e al Festival della Scienza di Fermo, FermHamente, rispettivamente il 20 e il 22 novembre 2023. L'amicizia e i rapporti personali sono stati fortemente rafforzati dalla partecipazione alle varie attività.

La cosmesi in particolare ha permesso di affrontare la questione STEM e gender: lo stereotipo della ragazza consumatrice di cosmetici è stato analizzato e ribaltato; le ragazze sono diventate produttrici del cosmetico sostenibile che hanno anche testato! Le ragazze hanno mostrato una spiccata capacità di affrontare situazioni difficili e di ideare possibili soluzioni, uno studente-musicista ha creato la musica. Nel gruppo è stato chiaro quanto sia importante valorizzare le diverse abilità.

La strategia didattica utilizzata ha cercato di sviluppare negli studenti non solo le LOTS (lower order thinking skills), ma anche le HOTS (higher order thinking skills) mediante brainstorming e Inquiry based learning.

Il percorso valutativo ha sempre messo a fuoco l'obiettivo principale dell'azione didattica: permettere al discente di produrre (e non solo riprodurre) il proprio sapere sfruttando la costruzione di ulteriori intuizioni basate sulla conoscenza pregressa.

Il corretto smaltimento dei rifiuti di laboratorio ha permesso infine di abituarli gli studenti a una pratica laboratoriale in linea con il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità dell'Agenda 2030.

Riferimenti

- [1] J. Elkington, *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*, New Society Publishers, 1998.
- [2] T. Cecchi, A. Giuliani, F. Iacopini, C. Santulli, F. Sarasini, J. Tirillo, Unprecedented high percentage of food waste powder filler in poly lactic acid green composites: synthesis, characterization, and volatile profile, *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, **26**, 7263–7271, 2019 (<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04187-1>).
- [3] G. Pastore, S. Gabrielli, T. Cecchi, A. Giuliani, C. Cimarelli, A. Menchi, E. Marcantoni, A new and efficient lactic acid polymerization by multimetallic cerium complexes: a poly(lactic acid) suitable for biomedical applications, *RSC Advances*, 2021, **11**, 10592–10598 (<https://doi.org/10.1039/d0ra10637b>).
- [4] T. Cecchi, C. De Carolis, *Biobased products from food sector waste. Bioplastics, biocomposites, and biocascading*, Springer Nature, 2021 (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-63436-0>).
- [5] T. Cecchi, E. Santoni, First liquid chromatography-high resolution mass spectrometry method for the determination of cocaine on banknote dust, *Forensic Toxicology*, 2022, **40**, 357–365 (<https://link.springer.com/article/10.1007/s11419-022-00627-9>).
- [6] <https://www.grasciaririuniti.it/>
- [7] Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Guidance on cascading use of biomass with selected good practice examples on woody biomass, Publications Office, 2018 (<https://data.europa.eu/doi/10.2873/68553>).
- [8] <https://www.science-on-stage.eu/final-projects-future-league>