

Biocombustibili da oli alimentari

PATRIZIA DALL'ANTONIA
Istituto Tecnico Industriale "A. Volta"
Trieste
patriziadallantonia@libero.it

SUNTO

La nuova tendenza nell'apprendimento delle scienze integrate prevede che il laboratorio diventi il luogo in cui gli studenti possano acquisire abilità nell'organizzarsi autonomamente per assimilare nuove conoscenze. Ciò comporta un'efficace pianificazione interdisciplinare, ad es. tra insegnanti di biologia, chimica e fisica, che dia maggior libertà ai discenti, fatti salvi qualità e rigore. Le attività hanno come tema i biocombustibili, in particolare il biodiesel. Partendo dalla sua produzione in laboratorio, il modulo continua con l'analisi di alcune proprietà del prodotto rispetto a quelle del biodiesel standard. Si propongono letture e discussioni al fine di sviluppare la consapevolezza sia dei vantaggi dell'uso dei biocombustibili, che dei fattori che maggiormente contrastano l'espansione delle bioenergie.

PAROLE CHIAVE

OLI ALIMENTARI / EDIBLE OILS; LABORATORIO / LABORATORY; PIANIFICAZIONE INTERDISCIPLINARE / INTERDISCIPLINARY PLANNING; BIOCOMBUSTIBILI / BIOFUELS; BIODIESEL / BIODIESEL; PRODUZIONE DEL BIODIESEL / PRODUCTION OF BIODIESEL; VISCOSITÀ / VISCOSITY; DENSITÀ RELATIVA / SPECIFIC GRAVITY; PUNTO DI INFIAMMABILITÀ / FLASH POINT; COMBUSTIBILI FOSSILI / FOSSIL FUELS

1. INTRODUZIONE

L'argomento trattato scaturisce in parte da quanto presentato sugli scambi energetici nelle trasformazioni chimiche in occasione dell'incontro seminariale "L'energia e il laboratorio didattico", facente parte della programmazione del CIRD dell'a. a. 2008/2009. Il contributo trae spunto anche da quanto fatto sugli oli alimentari in uno degli incontri di "Chimica e cucina" promossi dal CIRD nell'a. a. 2009/2010. Nei suoi aspetti applicativi, esso si basa su esperienze didattiche sviluppatesi a partire dall'a. s. 2008/09 nelle classi terze, specializzazione Termotecnica, dell'Istituto Tecnico Industriale "A. Volta" di Trieste.

Attualmente, alla luce del nuovo ordinamento degli Istituti Tecnici, messo in attuazione nell'a. s. 2010/2011 a partire dalle classi prime, l'attività sui biocombustibili offre occasione per la realizzazione di una vera e propria "sequenza di apprendimento" da collocare alla fine di una classe seconda del nuovo ordinamento, all'interno del piano di lavoro della disciplina "Scienze Integrate (Chimica)".

2. COSTRUZIONE DI UNA SEQUENZA DI APPRENDIMENTO.

MOTIVAZIONI E CONTESTUALIZZAZIONE IN UN PIANO DI LAVORO

In questi ultimi anni, alla Scuola italiana è stato chiesto un notevole sforzo per uniformare gli ordinamenti scolastici a quelle che sono le direttive suggerite a livello europeo. Tali direttive sono finalizzate a fissare gli obiettivi di competenza, distinti per i vari livelli scolari, ai quali i giovani dovrebbero pervenire. Si ritiene, infatti, che solo in tale maniera le competenze sviluppate da un giovane possono essere riconoscibili e quindi spendibili in qualsiasi altro Paese dell'Unione Europea.

A tal fine, sono state predisposte da un'opportuna Commissione Nazionale¹ le Linee Guida che definiscono il passaggio al nuovo ordinamento, negli Istituti di Scuola Secondaria di Secondo Grado². In tale documento sono presenti orientamenti e suggerimenti per la definizione del piano dell'offerta formativa di un istituto e per l'organizzazione del curriculum di ciascuna disciplina. Nello specifico degli Istituti Tecnici, le Linee Guida raccomandano agli operatori della scuola di adottare azioni finalizzate all'offerta di strumenti culturali e applicativi che consentano ai giovani di porsi con atteggiamento razionale e critico di fronte alla realtà e ai suoi problemi. In particolare, alle discipline afferenti all'Asse Scientifico-Tecnologico, di cui la Chimica fa parte, si chiede di rendere gli studenti consapevoli della stretta interconnessione che lega la scienza e la tecnologia al contesto culturale e sociale e ai modelli di sviluppo e di salvaguardia dell'ambiente.

¹ Costituita il 14 dicembre 2007 dal Ministro della Pubblica Istruzione protempore e confermata dalle successive legislature sino alla conclusione dei suoi lavori.

² A norma dell'articolo 8, comma 3, del regolamento emanato con decreto del Presidente della Repubblica 15 marzo 2010, n. 88.

Tra i profili generali presentati dal documento ai fini di orientare i docenti alla costruzione del curricolo, “Il laboratorio come metodologia di apprendimento” e “l’integrazione delle scienze” sono aspetti particolarmente interessanti per il percorso di apprendimento che si intende qui illustrare: in questa nuova concezione, il laboratorio non è più visto come luogo in cui mettere in pratica protocolli di esecuzione già standardizzati, ma è il luogo in cui gli studenti trovano occasione per mettere in gioco le loro abilità, e soprattutto le loro attitudini, per perseguire obiettivi di conoscenza.

Conoscenza che via via si consolida nell’attuazione di fatti ed esperienze e nello scambio di pareri, critiche, suggerimenti tra studente e studente, e tra studente e insegnante. Il laboratorio diventa, dunque, occasione per acquisire il “sapere” per mezzo del “fare”. Se poi, sul piano curricolare, le Scienze della Terra, la Fisica, la Chimica e la Biologia vengono intese (dai docenti in prima istanza e di conseguenza dai discenti) come componenti della stessa cultura che si è via via sviluppata nei secoli al fine di descrivere i fenomeni naturali, di interpretarli, di verificarne l’attendibilità e di fornire previsioni, ecco che il concetto di “scienze integrate” dovrebbe scaturire quasi spontaneo in un contesto scolastico e il laboratorio potrebbe essere l’occasione più immediata per mettere a confronto, collegare, “integrare”, aspetti diversi di uno stesso problema scientifico.

Nel primo biennio della scuola secondaria di secondo grado, l’integrazione delle scienze mira dunque, attraverso il contributo di più insegnanti, a “sviluppare l’intima connessione del sapere scientifico”. Questo contribuisce anche a preparare la strada alle tematiche più caratterizzanti del triennio successivo. Tenendo conto di questo e del fatto che nel nuovo ordinamento l’insegnamento della Chimica è presente interamente e solo al biennio, il lavoro che qui viene presentato, collaudato ormai da più anni all’inizio della classe terza della sezione “Termotecnica”, trova nuova collocazione alla fine della classe seconda: una sequenza di apprendimento volta a consolidare “processi unificanti” tra discipline scientifiche e a garantire il

processo di continuità tra il biennio ed il triennio del nuovo indirizzo “Meccanica, Meccatronica ed Energia”.

3. COSTRUZIONE DI UNA SEQUENZA DI APPRENDIMENTO. LE DISCIPLINE AFFERENTI

La progettazione di un'attività formativa diretta allo sviluppo di competenze, non può non tener conto della consapevolezza da parte dei singoli insegnanti circa il ruolo degli apporti delle loro rispettive discipline.

Nello specifico di questo intervento, l'integrazione dei contributi dei docenti di Chimica, Fisica e Scienze naturali dovrebbe essere completata dalla supervisione degli insegnanti delle discipline caratterizzanti del triennio, vista la collocazione particolare della sequenza di apprendimento in questione.

Nell'ambito delle scienze integrate, l'impegno di ogni singolo docente è necessario ma non basta: “sarebbe inutile infatti se esso si richiudesse all'interno di ogni singola disciplina, nell'illusione che gli alunni sviluppino da soli le capacità per operare collegamenti e approfondimenti interdisciplinari”³.

Non si può pensare del resto che l'integrazione disciplinare si realizzi senza una necessaria gradualità e senza una progressiva preparazione. In questo senso, le attività di collaborazione degli insegnanti di scienze integrate sono in una fase sperimentale.

Da qualche anno a questa parte comunque, presso l'Istituto Tecnico in cui viene realizzata l'attività in questione, gli insegnanti di scienze integrate lavorano insieme per la realizzazione dei piani di lavoro annuali, avendo cura di organizzare una pianificazione temporale, che tenga almeno conto delle esigenze reciproche delle varie discipline, nonché realizzando e testando strumenti comuni di valutazione periodica, strumenti non ancora atti alla certificazione del raggiungimento di competenze, ma perlomeno utili a verificare negli allievi il superamento di obiettivi di abilità e di conoscenze, essenziali per il processo di graduale promozione di competenze.

³ Istituti Tecnici, Linee guida per il passaggio al Nuovo Ordinamento (articolo 8, comma 3, del regolamento emanato con Decreto del Presidente della Repubblica 15 marzo 2010, n. 88).

4. LA COSTRUZIONE DI UNA SEQUENZA DI APPRENDIMENTO

Passando ora alla sequenza di apprendimento che si intende illustrare, si ritiene che uno schema molto semplice delle attività relative alle scienze integrate coinvolte nello sviluppo della sequenza possa fornire un chiarimento o, perlomeno, un esempio molto semplificato di quello che si è inteso dire finora. Nel seguente paragrafo ci si limiterà a descrivere i caratteri interdisciplinari dell'attività, senza entrare nel merito di quelli attinenti allo specifico della Chimica.

4.1 CIÒ CHE L'ALLIEVO GIÀ SA E SA FARE

Nello schema della tabella 1 si illustra ciò che l'allievo deve sapere e saper fare per procedere nella sequenza di apprendimento.

4.2 LE PROBLEMATICHE CHE SI INTENDONO AFFRONTARE

Le problematiche da affrontare saranno le seguenti:

- La questione energetica: riduzione del consumo di fonti energetiche non rinnovabili e ricerca di fonti energetiche rinnovabili. Misure per evitare l'effetto serra.
- Biomasse. Produzione di biodiesel: aspetti tecnici ed economici. Passaggi fondamentali per la sintesi del biodiesel.
- Vantaggi e svantaggi nell'uso di biodiesel. Il riciclo degli oli alimentari esausti.

4.3 GLI OBIETTIVI DA PERSEGUIRE

- Alla fine dell'attività l'allievo dovrà aver acquisito le conoscenze e abilità riportate nella tabella 2.

Dalle scienze integrate...	L'allievo conosce...	L'allievo sa fare...
Scienze della Terra e Biologia ⁴	<p>L'atmosfera; il clima; le conseguenze delle modificazioni climatiche.</p> <p>Origine della vita: livelli di organizzazione della materia vivente (struttura molecolare, struttura cellulare e sub cellulare).</p> <p>Ecosistemi (circuiti energetici, cicli alimentari, cicli biogeochimici).</p> <p>Processi metabolici: organismi autotrofi ed eterotrofi; respirazione cellulare e fotosintesi.</p> <p>Ecologia: la protezione dell'ambiente (uso sostenibile delle risorse naturali e gestione dei rifiuti).</p>	<p>Analizzare lo stato attuale e le modificazioni del pianeta anche in riferimento allo sfruttamento delle risorse della Terra.</p> <p>Descrivere il ruolo degli organismi, fondamentale per l'equilibrio degli ambienti naturali e per il riequilibrio di quelli degradati dall'inquinamento.</p>
Fisica ⁵	<p>Energia, lavoro, potenza.</p> <p>Conservazione dell'energia in un sistema isolato.</p> <p>Primo e secondo principio della termodinamica.</p>	<p>Riconoscere e spiegare la conservazione dell'energia in varie situazioni della vita quotidiana.</p> <p>Analizzare la trasformazione dell'energia negli apparecchi domestici, tenendo conto della loro potenza e valutandone il corretto utilizzo per il risparmio energetico.</p> <p>Descrivere le modalità di trasmissione dell'energia termica e calcolare la quantità di calore trasmessa da un corpo.</p> <p>Applicare il concetto di ciclo termodinamico per spiegare il funzionamento del motore a scoppio.</p>
Chimica ⁶	<p>La quantità chimica. Mole.</p> <p>Legami chimici e forze intermolecolari, numero di ossidazione, scala di elettronegatività, forma delle molecole.</p> <p>Energia e trasformazioni chimiche.</p> <p>I catalizzatori e i fattori che influenzano la velocità di reazione.</p> <p>Fattori che determinano la spontaneità di una reazione.</p> <p>Teoria acido-base secondo Broensted e Lowry.</p> <p>Idrocarburi alifatici.</p>	<p>Effettuare le fondamentali tecniche di separazione su miscele.</p> <p>Utilizzare il modello cinetico-molecolare per spiegare le evidenze delle trasformazioni fisiche e chimiche.</p> <p>Eseguire calcoli stechiometrici.</p> <p>Preparare soluzioni di data concentrazione.</p> <p>Descrivere gli scambi di energia con l'ambiente nelle trasformazioni chimiche.</p> <p>Spiegare l'azione dei catalizzatori e degli altri fattori sulla velocità di reazione.</p> <p>Effettuare misure di caratteristiche chimico-fisiche su oli minerali.</p>

Tabella 1.

⁴ IBIDEM, pp. 74-75.

⁵ IBIDEM, pp. 76-77.

⁶ IBIDEM, pp. 78-79.

	Conosce...	Sa fare...
Scienze integrate	<p>La legge dell'entropia (secondo principio della termodinamica) come governo delle trasformazioni di energia da una forma utilizzabile a una non utilizzabile.</p> <p>Gli aspetti cinetici e termodinamici in seguito ai quali un fenomeno naturale può verificarsi.</p> <p>Le problematiche economiche e ambientali connesse con l'uso dei combustibili fossili.</p>	<p>Valutare e descrivere i limiti di modelli usati per lo studio di processi.</p> <p>Trarre da una pubblicazione scientifica, da un manuale o da fonti multimediali notizie utili che consentano la realizzazione di un semplice protocollo scientifico.</p> <p>Comunicare con linguaggio appropriato e con opportune argomentazioni le problematiche ambientali, economiche, sociali legate all'uso su vasta scala dei biocombustibili.</p>
Chimica	<p>Caratteristiche e proprietà di alcoli, acidi carbossilici, esteri sulla base delle caratteristiche dei loro gruppi funzionali e la stechiometria dei processi di saponificazione, esterificazione, transesterificazione.</p>	<p>Eseguire su piccola scala i passaggi fondamentali per ottenere il biodiesel.</p> <p>Eseguire le misure di alcune caratteristiche essenziali per determinare la bontà del biodiesel così sintetizzato.</p> <p>Descrivere e giustificare gli accorgimenti grazie ai quali si ottiene il prodotto dalle caratteristiche accettabili.</p> <p>Descrivere il processo di sintesi tramite l'uso di modelli e di equazioni chimiche.</p>

Tabella 2.

4.4 LE MODALITÀ DI ESECUZIONE

Il laboratorio rappresenta la modalità trasversale che può caratterizzare tutta la didattica disciplinare e interdisciplinare coinvolta in questa sequenza di apprendimento. Come già ribadito in precedenza, il laboratorio dev'essere concepito come "laboratorio di idee oltre che di fatti".

È fondamentale che l'insegnante attui modalità laboratoriali anche in aula, per coinvolgere gli studenti, tramite ricerche da fonti di vario tipo, in un dibattito costruttivo che consenta loro di confrontare diversi punti di vista, di evincerne punti di forza e di debolezza, di fare un'analisi critica e consapevole delle problematiche studiate, fino a giungere a conclusioni condivise.

In seguito alle esperienze degli anni precedenti in occasione dei dibattiti attuati in aula sulla base di fonti suggerite dall'insegnante o che i ragazzi stessi si erano pro-

curate, sono state raccolte molte e varie argomentazioni: notizie opportunamente valutate e mutate dai ragazzi grazie alle conoscenze e alle abilità già acquisite nei vari ambiti delle scienze integrate. L'insegnante di Chimica si è fatta carico di raccogliere le testimonianze, di coordinare i dibattiti, là dove necessario di integrare conoscenze, e di sottolineare alla fine gli aspetti scientifici più significativi nell'ambito della Chimica e più attinenti alle caratteristiche del biodiesel. Nella seguente sezione se ne fornisce un esempio.

5. DUE PAROLE SULL'ENERGIA (DIBATTITO/LEZIONE INTERATTIVA)

Dalla scoperta del fuoco, o meglio dal raggiungimento della capacità di governare (accendere spegnere, alimentare, ecc.) la combustione, l'evolversi delle civiltà hanno fatto sì che gli esseri umani necessitassero sempre più di energia.

Con l'avvento poi delle grandi civiltà industriali in epoca moderna, l'osservazione delle modalità con le quali l'energia può essere trasformata e/o prodotta (ovvero estratta da una riserva energetica) è diventata oggetto di studio e ha portato alla formulazione delle leggi della termodinamica, leggi indispensabili per comprendere la natura di un numero sterminato di fenomeni naturali e di enorme rilevanza nelle loro applicazioni industriali.

Parte importante in questo contesto è tutto ciò che riguarda lo studio di quei sistemi ad alta energia, "magazzini di energia" che l'uomo tenta di far passare a sistemi a energia più bassa, per ricavare l'energia e sfruttarla al meglio per compiere lavoro.

Tale passaggio si può verificare con un fenomeno fisico (la caduta di una massa d'acqua), o con un fenomeno nucleare (del materiale fissile che reagisce), ma anche con un fenomeno chimico (una benzina che brucia). Naturalmente, i chimici sono particolarmente interessati a quest'ultimo processo. Per ottenere energia tramite questo tipo di processo, l'uomo tenta di procurarsi *sistemi chimici che contengano molecole ad alta energia* e possibilmente di immagazzinarli, stocarli, trasportarli per poterli poi sfruttare a piacimento.

Come fare per procurarsi le molecole “magazzini di energia” contenute nelle sostanze cosiddette energetiche? Le fonti o i modi per procurarsele possono essere molteplici ma tutte quante hanno come fondamento il fatto che in natura vengono continuamente costruite molecole ricche di energia partendo da molecole povere di energia, tramite la fotosintesi.

Sotto questo aspetto, si può comprendere come notevoli fonti energetiche possano essere i *combustibili fossili*, carbone, petrolio, gas naturale, ovvero ciò che rimane dei prodotti della fotosintesi, e le *biomasse*, legno, scarti dell’agricoltura, ovvero gli attuali prodotti della fotosintesi.

Da notare che, a tutt’oggi, le sorgenti di energia a livello mondiale sono ancora in gran parte di natura chimica e in buona parte sono fonti non rinnovabili.

Nello specifico del nostro intervento ci occuperemo di biomasse⁷. Per *biomasse* si intendono tutti quei materiali di origine organica, animale o vegetale, che non hanno subito alcun processo di fossilizzazione. Le biomasse sono una fonte rinnovabile di energia e rappresentano il 4% del consumo mondiale di fonti di energia (da notare che il carbone ne rappresenta il 25%, il gas naturale il 21%, il petrolio il 35%, il nucleare il 6%, le fonti rinnovabili, nella loro totalità, il 13%⁸). L’uso principale dell’energia ricavata da biomasse è destinato al riscaldamento e ai trasporti. Alcuni materiali, per esempio il legno, possono essere utilizzati quasi tal quali come biomassa, altri hanno bisogno di trattamenti più o meno complessi: un olio vegetale, per esempio, o un grasso animale, possono fornire materia prima che, opportunamente manipolata, può essere utilizzata come fonte di energia. Il *biodiesel* ne è un esempio: esso è un combustibile ottenuto da un processo chimico, la transesterificazione, applicato proprio a oli vegetali e a grassi animali.

Prima di procedere su aspetti tecnici più specifici, è utile un po’ di “cronistoria” per focalizzare le caratteristiche del biodiesel dal punto di vista del chimico: gasolio per diesel, biodiesel, oli di semi, ecc. Negli ultimi anni sono stati fatti studi più o meno oculati

⁷ CARVOLI G., RAGAINI V., SOAVE C. 2008, pp. 38-41.

⁸ ARESTA M., 2011, prefazione.

sull'uso degli oli vegetali come combustibili ed è di qualche anno fa la notizia che l'olio di semi di colza comprato in supermercato avrebbe potuto molto bene sostituirsi al gasolio per la trazione delle auto, salvo il fatto che non si conosceva l'usura delle parti meccaniche del motore in tempi lunghi e soprattutto che una grande puzza di fritto invadeva l'abitacolo dell'auto in tempi molto brevi. Sembrava che per un periodo la cosa avesse preso piede, tanto che non si trovava più l'olio di semi di colza al supermercato, dal momento che ne era aumentata spropositatamente la vendita.

Molti pensavano che olio di colza e biodiesel fossero sinonimi. Si pensava anche che gasolio e biodiesel fossero più o meno lo stesso combustibile, visto che lo si utilizza nello stesso tipo di motore, in realtà:

*[...] il biodiesel è un biocombustibile liquido, trasparente e di colore ambrato, ottenuto interamente da olio vegetale (colza, girasole o altri), con una viscosità simile a quella del gasolio per autotrazione, che invece è ottenuto per distillazione frazionata del petrolio grezzo [...]*⁹

Vediamo dunque che, mentre il gasolio ha tutt'altra origine, in effetti biodiesel e olio di semi si possono ottenere entrambi dalla spremitura di semi dello stesso tipo. Il biodiesel però si ottiene solo dopo aver sottoposto a uno specifico processo chimico l'olio di semi ottenuto dalla spremitura. Più avanti, quando parleremo di caratteristiche più specifiche, verranno forniti dei modelli molecolari che indicheranno chiaramente la differenza tra le molecole dei componenti principali presenti in tali sostanze. Per il momento ricordiamo che:

*[...] l'olio di colza è sì un ingrediente del cosiddetto biodiesel (ossia del carburante diesel ottenuto da fonti vegetali), ma l'olio alimentare (compresi quelli di girasole, di arachidi, semi vari...) in commercio non ha subito i trattamenti chimici necessari, per cui produce residui che a lungo andare danneggiano il motore. Per esempio, l'olio di colza da supermercato contiene ancora glicerina, che invece nell'olio di colza per biodiesel è stata rimossa.*¹⁰

Abbiamo voluto tenere integre queste poche righe estratte da un sito web, che per altro ci è sembrato affidabile, per sottolineare la differenza tra un linguaggio comunicativo

⁹ WIKIPEDIA, 2011.

¹⁰ MARTINELLO P. (a cura di), 2011.

divulgativo e un linguaggio scientifico: nel passo di sopra sembra che la glicerina sia presente nell'olio di colza e che si ottenga biodiesel facendo una semplice separazione tra glicerina e il resto dei componenti dell'olio; questo non è vero, gli oli vegetali non contengono glicerina, essi per la massima parte sono costituiti dai trigliceridi che, *solo se sottoposti a un determinato processo chimico*, reagiscono producendo glicerina insieme a quelli che saranno i componenti del biodiesel: è solo a questo punto, da questa miscela di prodotti, che sarà necessario allontanare la glicerina per ottenere il biodiesel.

A parte la serietà dei tentativi più o meno empirici nell'uso diretto di un olio di semi nel motore, il trattamento opportuno di tali oli con un alcool completamente anidro e in presenza di una base caustica, soda caustica o potassa caustica, tutte sostanze facilmente reperibili sul mercato, può portare alla produzione di un biodiesel dalle buone caratteristiche, tali da poterlo rendere competitivo ai combustibili per motori diesel usuali sul mercato. Si ricordi comunque che il biodiesel ufficiale non è certo una miscela fatta artigianalmente, è un prodotto dalle caratteristiche ben precise, definite dalla normativa europea EN14214 che, per essere liberamente venduto, deve rispettare due norme ISO: UNI 10946¹¹ ed UNI 10947¹². I motori diesel compatibili, inoltre, sono calibrati per una precisa miscela aria/combustibile: usare una miscela diversa, potrebbe provocare danni al motore”¹³.

6. LA SINTESI DEL BIODIESEL (ATTIVITÀ DI LABORATORIO DI CHIMICA INTERPRETATA TRAMITE MODELLI)

La descrizione che ora si apre cercherà di essere accessibile anche a un pubblico non eccessivamente esperto in Chimica. Si tenga conto che anche i ragazzi che di solito hanno affrontato in prima persona questa attività non avevano particolare esperienza di Chimica organica, e il problema si accentua se si prevede di inserire l'attività al termine del biennio.

¹¹ Combustibili per autotrazione - Esteri metilici di acidi grassi (FAME) per motori diesel - Requisiti e metodi di prova.

¹² Combustibili liquidi per usi termici - Esteri metilici di acidi grassi (FAME) - Requisiti e metodi di prova.

¹³ MARTINELLO P. (a cura di), 2011.

Per la trattazione si usano modelli molecolari bi- o tridimensionali prima di passare a formule ed equazioni chimiche. Un aspetto infatti particolarmente difficoltoso da superare per un allievo che esce dal classico percorso di Chimica generale (che purtroppo prende spunto in larga parte dalla Chimica inorganica), è abituarsi a visualizzare tridimensionalmente le molecole organiche che, di solito, sono formate da un numero elevato di atomi ma non presentano una grande variabilità di elementi. La struttura delle molecole in Chimica organica è spesso determinante per interpretare la loro reattività, pertanto, un modello che aiuti a visualizzare tale struttura può essere, con tutte le precauzioni del caso, un valido ausilio¹⁴.

In questi modelli, realizzati da chi scrive sulla base di modelli di molecole semplici che si trovano nel libro di testo in uso¹⁵, la sfera azzurra rappresenta un atomo di ossigeno (O), la rossa uno di carbonio (C), la bianca uno di idrogeno (H). Si tratta di modelli di composti organici più o meno complessi. In essi non si tiene conto del fatto che le catene di idrocarburi sono spesso ripiegate. Il rapporto dimensionale tra atomi diversi è poco rispettato, nemmeno la distanza tra gli atomi è rispettata, e chissà quanti altri difetti si possono notare. D'altro canto, come si vedrà, quello che interessa in questo contesto è il numero, la tipologia e la posizione reciproca degli atomi nelle molecole che costituiscono ogni singolo esempio ed è questo che tali modelli cercheranno di rispettare.

Si noti come le strutture di queste molecole contengono molti legami di tipo C-C e C-H: il chimico organico direbbe che sono situazioni in cui il carbonio si trova in uno stato ridotto. La presenza del *carbonio ridotto* è una caratteristica ricorrente nelle sostanze riconosciute come fonti energetiche¹⁶. Per esempio, sono molto ricche di legami C-C e

¹⁴ Attenzione perché l'uso del modello potrebbe essere rischioso: il modello non individua la realtà di una situazione e non è nemmeno la fotografia di una realtà, ma è solo una rappresentazione con cui si vogliono enfatizzare alcune caratteristiche del sistema che al momento interessano. L'uso di un modello è consigliabile per ragazzi che hanno già sviluppato una certa capacità di astrazione ed è comunque buona norma che l'insegnante, quando lavora con modelli, non si stanchi di ribadire che *solo per certi aspetti* il sistema oggetto di studio *ha caratteristiche simili a quanto viene rappresentato*.

¹⁵ BAGATTI F., CORRADI E., DESCO A., ROPA C., 2008.

¹⁶ Nei complessi sistemi catabolici degli esseri viventi, infatti, esse vengono demolite fino a quando, in ultima analisi, grazie all'ossigeno proveniente dalla respirazione, i loro legami C-C e C-H si ossidano in C-O e O-H e si producono le semplici, "povere", molecole di acqua ed anidride carbonica, con relativa emissione di energia.

C-H le molecole dei carboidrati e dei grassi, il combustibile naturale presente nel cibo che l'uomo fin dalla preistoria ha capito essere fonte di energia convertibile in lavoro. Iniziamo dunque con i modelli di quelle che sono le differenze fra le molecole più caratterizzanti un gasolio, un olio alimentare e un biodiesel (vedi figura 1).

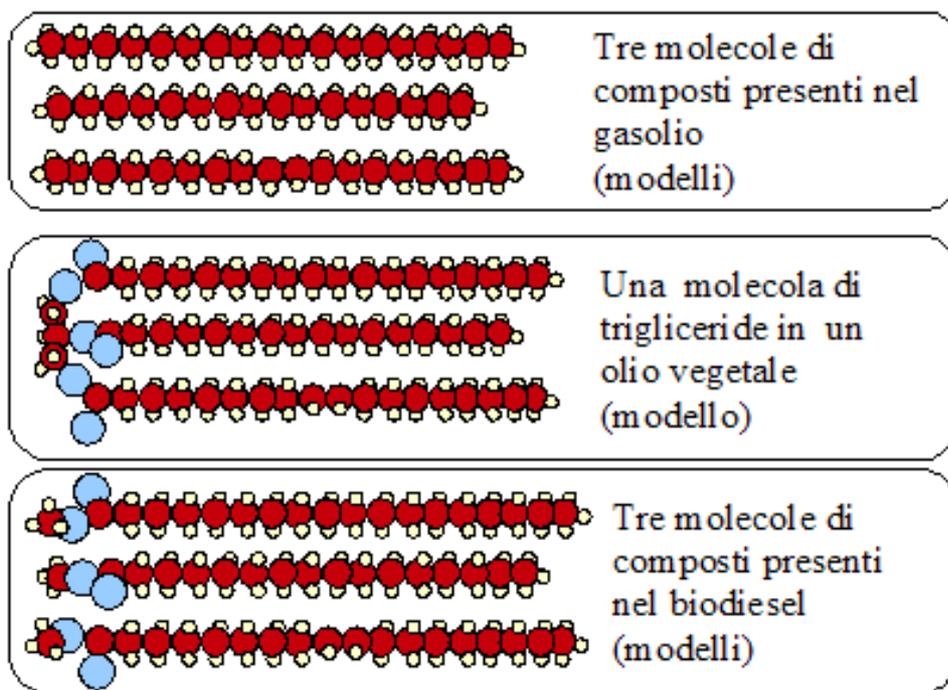
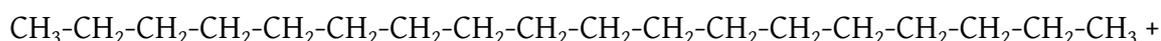
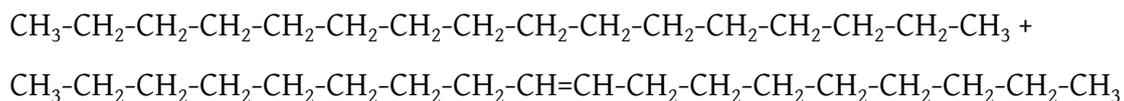


Figura 1.

Per quanto riguarda il gasolio, si sono scelte come più rappresentative tre catene lineari di idrocarburo: gli atomi di carbonio sono legati tra loro, ciascun carbonio è legato a sua volta a due o a tre atomi di idrogeno a seconda che sia posto all'interno alla catena o all'estremità di essa, nella catena più in basso due atomi di carbonio portano un solo idrogeno ciascuno, in quanto sono legati con doppio legame (che non si vede nel modello). Se avessimo da rappresentare la situazione con le formule dovremmo scrivere: $C_{18}H_{38} + C_{16}H_{34} + C_{18}H_{36}$, e con le formule condensate¹⁷:



¹⁷ Esiste una maniera abbastanza efficace in Chimica di rappresentare le molecole attraverso quella che viene chiamata la *formula condensata*, una maniera compatta di rappresentare le molecole che esplicita la catena carboniosa, è una via di mezzo tra la formula vera e propria e il modello che descrive la catena.

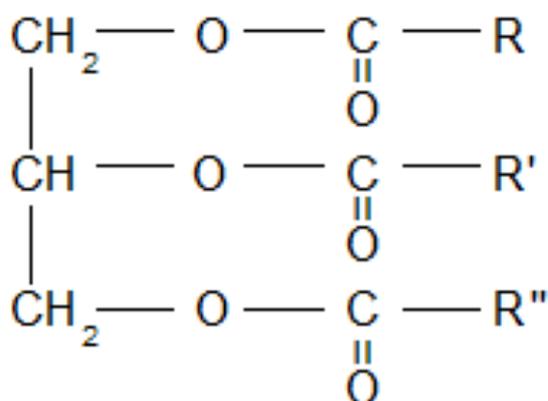


In questo esempio si sono scelte solo catene lineari dal momento che esse sono parti delle molecole rappresentative dell'olio vegetale e del biodiesel, ma si ricordi che spesso le molecole degli idrocarburi sono ramificate grazie al fatto che ciascun atomo di carbonio può sostituire uno o più atomi di idrogeno con altri atomi di carbonio.

Il gasolio, chimicamente parlando, è una miscela di idrocarburi con catene che contengono da 13 a 18 atomi di carbonio, esse possono essere lineari, ramificate o anche cicliche.

Proseguiamo ora con gli oli vegetali i cui componenti essenziali sono i trigliceridi. Nel modello di trigliceride riportato in figura 1 possiamo individuare somiglianze e differenze tra questa molecola e quelle tipiche del gasolio: in questo caso si riconoscono ancora le tre catene idrocarburiche, che vengono anche dette "grasse" data la loro insolubilità in acqua, ma esse non sono indipendenti tra loro: in ciascuna di esse il carbonio di un'estremità invece di portare degli idrogeni è legato a due ossigeni, uno dei quali a sua volta fa da "ponte" tra la catena grassa e una piccola catena laterale fatta da tre atomi di carbonio.

In tal caso dunque vi è un'unica singola molecola la cui formula condensata è la seguente:



Nella formula, R, R' ed R'' rappresentano rispettivamente le catene:



Le catene idrocarburiche qui rappresentate sono le più frequenti, possono comunque esservi altre catene più o meno lunghe, con un numero variabile di doppi legami.

Il fatto che le catene idrocarburiche siano riunite a tre a tre in queste grosse molecole di trigliceride rende l'olio vegetale molto più viscoso del convenzionale gasolio. Esso deve essere quindi riscaldato per essere reso meno viscoso¹⁸ prima di essere nebulizzato dagli iniettori in un motore diesel. Se non viene ben nebulizzato, può non bruciare in modo adeguato, formando depositi non desiderati che portano a minor prestazione del motore, danni agli iniettori e maggiori emissioni nell'ambiente. È per questa ragione che l'uso diretto dell'olio di semi nel motore è altamente sconsigliato.

Infine l'ultimo modello, quello del biodiesel. Ci sono di nuovo tre molecole, ma si nota subito come esse derivino dal trigliceride: sono rimasti i due atomi di ossigeno per ogni catena grassa, solo che in tal caso quello che faceva da ponte con la catena laterale fatta da tre atomi di carbonio, ora fa da ponte a un piccolo gruppo indipendente $-CH_3$, chiamato "gruppo metile". Qui di seguito le rappresentazioni in formula razionale (in esse il gruppo costituito da un atomo di carbonio legato con doppio legame a uno di ossigeno viene semplicemente indicato con $-\text{CO}-$):



La presenza di tre molecole invece di un'unica grossa molecola fa sì che la viscosità di questo prodotto sia decisamente minore dell'olio di semi da cui deriva. Sembra inoltre che il biodiesel presenti una scarsa tendenza ad accendersi in presenza di innesco, il che riduce i problemi durante le fasi di trasporto e stoccaggio. Queste molecole tipiche del biodiesel sono chiamate *esteri metilici di acidi grassi*, la differenza tra un acido grasso e il suo estere metilico è evidente nelle prime due strutture qui di seguito riportate in figura 2: la prima rappresenta un acido grasso (per la

¹⁸ Si ricordi che la viscosità di un liquido diminuisce all'aumentare della temperatura.

cronaca, l'acido stearico), la seconda è il suo estere metilico (estere metilico dell'acido stearico).

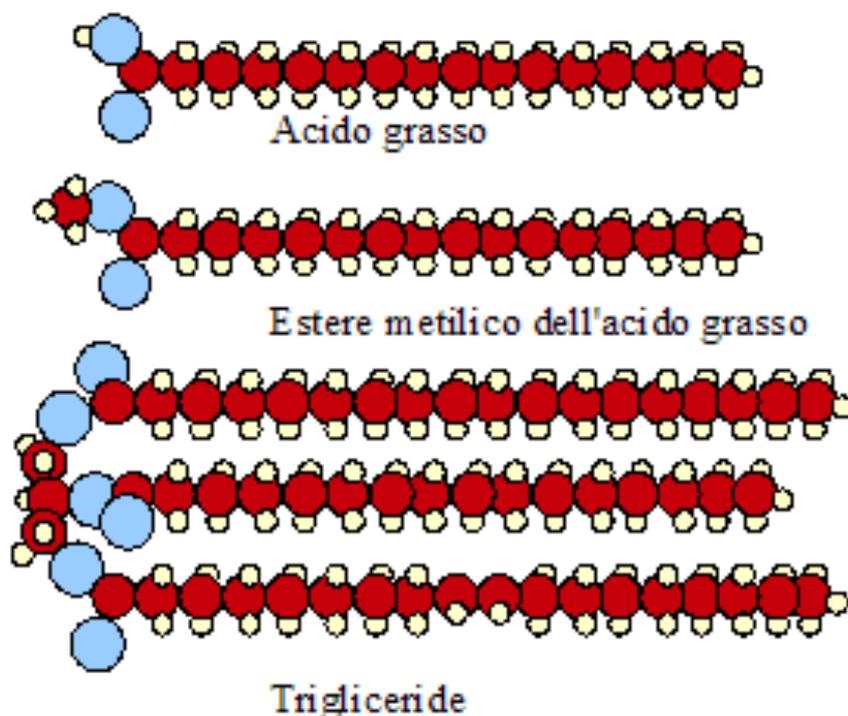


Figura 2.

L'unica differenza tra un acido grasso e il suo estere è che un ossigeno, invece di legarsi a un idrogeno si lega a un residuo idrocarburico, nel nostro caso un metile ($-\text{CH}_3$), ma possono esservi anche residui più lunghi. Nella figura 2 è stato inserito un modello di trigliceride perché, a ben osservare, i trigliceridi sono anch'essi esteri di acidi grassi, ma un po' particolari: in essi tre molecole di acido grasso sono legate, sempre tramite il loro ossigeno, a un unico residuo idrocarburico.

Ebbene, grazie a una reazione chiamata di *transesterificazione* il trigliceride, “estere composito”, si trasforma in tre esteri semplici: è proprio tale reazione il famoso processo chimico a cui l'olio deve essere sottoposto per trasformarsi in biodiesel.

Ma come fare per sostituire la catena a tre carboni del trigliceride con tre gruppi metilici? Ci vuole innanzitutto una sostanza che contenga dei gruppi metilici e poi qualcosa che “attivi” la reazione. La sostanza adatta è l'alcool metilico ($\text{CH}_3\text{-OH}$), il

quale però non riuscirebbe a reagire se non fosse attivato dalla potassa o dalla soda caustiche che fungono da catalizzatore (vedi figura 3).

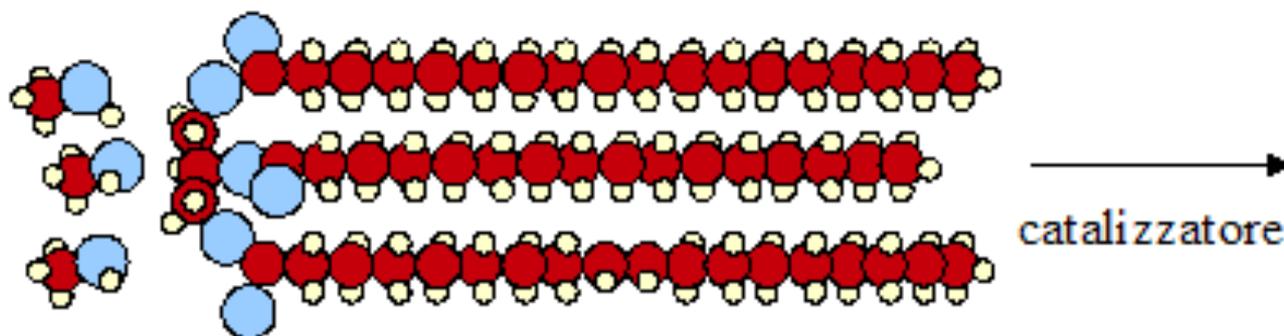


Figura 3.

Per ogni molecola di trigliceride reagiscono tre molecole di alcool metilico (in figura esse si notano a sinistra del trigliceride).

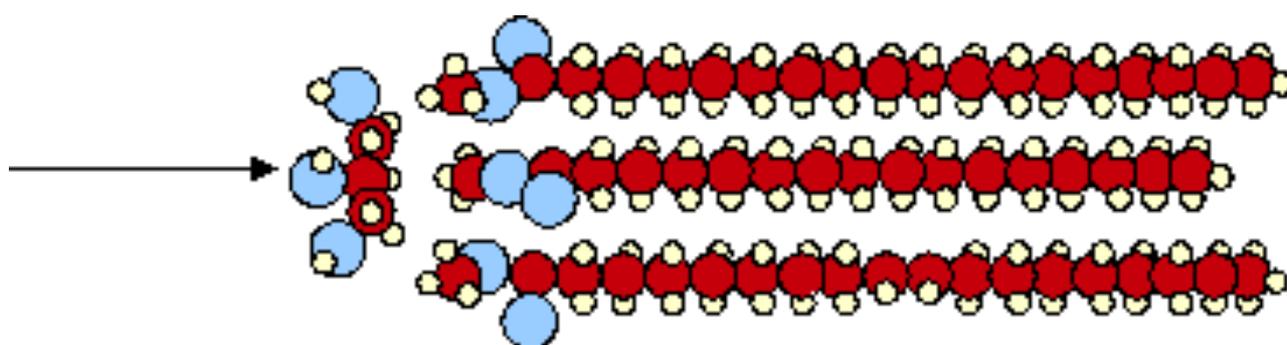


Figura 4.

Si ottengono così tre molecole di estere metilico (a destra) che costituiscono il biodiesel e una molecola (a sinistra) che contiene la catena a tre atomi di carbonio ciascuno dei quali porta ora un gruppo -OH: si tratta proprio della *glicerina* (o *glicerolo*) che deve essere rimossa dalla miscela dei prodotti, per ottenere il biodiesel (vedi figura 4).

La stessa reazione di transesterificazione è proposta tramite formule condensate¹⁹ nella figura 5.

¹⁹ LOIACONO S., 2011.

800 ml di olio di semi di girasole vengono preriscaldati a 50 °C. Una volta raggiunta la temperatura, si aggiunge il metossido anch'esso a 50 °C. Si avvia la reazione sempre sotto agitazione e riscaldamento. Il sistema è inizialmente torbido, causa la non miscibilità dei reagenti (vedi figura 7).

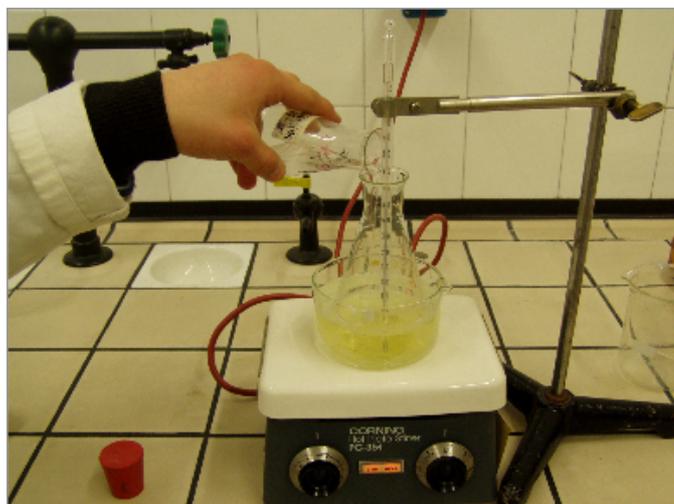


Figura 7.

In una fase intermedia il sistema è limpido (probabilmente le sostanze presenti sono molto simili tra loro e quindi miscibili; si tratterà di prodotti intermedi: esteri metilici, digliceridi, monogliceridi, ecc.) (vedi figura 8).



Figura 8.

Alla fine il sistema ridiventa torbido, segno che la transesterificazione è avvenuta con la formazione della glicerina, immiscibile con il resto dei prodotti. Una volta lasciato raffreddare il sistema, la glicerina più densa si deposita sul fondo (24 h) e in seguito può essere facilmente rimossa con un imbuto separatore (vedi figura 9).



Figura 9.

Il biodiesel così ottenuto viene sottoposto a una serie di lavaggi con acido acetico per favorire l'allontanamento di eventuali residui di catalizzatore basico e sottoposto poi a un certo numero di analisi tecniche.

Si è deciso di fare una serie di analisi tecniche preventive sull'olio di semi di girasole e sul metilestere da esso derivato per paragonarle a quelle del biodiesel standard trovate in letteratura. I risultati sono riportati nella tabella 3.

Proprietà	Biodiesel standard ²⁰	Olio di girasole	Metilestere da olio di girasole	Osservazioni
Viscosità cinematica (mm ² /s)	1,9 – 6,0*	48* 63 **	11,2* 17,5**	* a 40°C ** a 25°C
Densità relativa	0,87 – 0,90	0,93	0,87	
Flash point (°C)	min. 130	220 ²¹	180	

Tabella 3.

²⁰ RAMADHAS A. S., JAYARAJ S., MURALEEDHARAN C., 2004, p. 339.

²¹ IBIDEM, p. 336.

La scelta dei parametri da misurare è stata fatta sulla base dei seguenti ragionamenti. La viscosità, proprietà che si identifica con l'attrito interno, cioè con la resistenza che le molecole di un fluido oppongono allo scorrere le une sulle altre, è una caratteristica importante per la bontà del combustibile.

Come già è stato detto, è proprio per la sua viscosità troppo elevata che l'olio vegetale non può essere usato direttamente nel motore diesel. In tabella, in effetti, si nota la notevole differenza dei valori di viscosità sia a temperatura di 25 °C che a 40 °C tra l'olio di girasole e il suo estere metilico (metilestere) sintetizzato in laboratorio, il valore di quest'ultimo è molto più vicino al *range* previsto per il biodiesel standard. In tabella vi sono dati di *viscosità cinematica* che, per i nostri combustibili è stata misurata tramite viscosimetro Engler²². La misura si basa sul rapporto tra il tempo impiegato dall'olio per passare da un contenitore a un raccoglitore dalle caratteristiche standardizzate e il tempo impiegato dall'acqua distillata per lo stesso passaggio.

Per le misure di densità relativa si sono usati i picnometri: essi sono contenitori in vetro la cui capacità è garantita con una certa precisione (di solito 25 ml o 50 ml). Dopo averlo pesato vuoto e perfettamente asciutto, si riempie il picnometro fino alla tacca del volume, prima con acqua distillata e poi con l'olio in esame, si fanno le relative pesate. La densità relativa dell'olio viene data dal rapporto tra la massa dell'olio e quella dell'acqua misurate alla stessa temperatura.

Vediamo ora l'ultima proprietà espressa nella tabella 3 (la sua misura non è certo consigliabile in un laboratorio non attrezzato), il *flash point*²³ o *punto di infiammabilità*: per un olio combustibile esso è la temperatura più bassa alla quale si formano vapori di olio in quantità tale che, in presenza di ossigeno e di un *innesco*, ha luogo la combustione. A questo punto è bene ricordare che, mentre per un motore a scoppio il carburante dovrebbe miscelarsi con l'aria e scaldarsi fino al suo *flash point* per ac-

²² Con questo apparecchio si ottengono misure in gradi Engler, opportune tabelle di conversione (*Internationale Tafel zum Hoppeler-Viskosimeter*) permettono di risalire da questo valore al valore di viscosità nelle unità di misura del sistema cgs (cm, g, s) che sono $\text{cP}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$, dove per cP si intende 1cPoise che è uguale a 1mPa.s. Con qualche calcolo dimensionale si potrà dimostrare che $1\text{ cP}\cdot\text{cm}^3/\text{g} = 1\text{ mm}^2/\text{s}$.

²³ Misurata in laboratorio con l'apparecchio Pensky-Martens.

cendersi mediante una candela, e dunque al carburante si richiede un *flash point* relativamente basso, nel motore diesel la deflagrazione della carica combustibile avviene nel momento di massima pressione, in presenza di una miscela aria-combustibile nebulizzata. In questo caso non vi sono sorgenti di accensione. Di conseguenza al combustibile diesel è richiesto un alto *flash point*, per garantire una certa stabilità a eventuali pericoli di innesco durante il trasporto e lo stoccaggio, ma una bassa *temperatura di autoignizione*²⁴.

Dai dati sperimentali notiamo come anche per il *flash point* il valore del nostro metil estere, rispetto a quello dell'olio vegetale, è più vicino a quello del biodiesel standard. Si tratta comunque di valori alti rispetto al *flash point* di una benzina, carburante usato per il motore a scoppio, che dev'essere minore di 50 °C.

7. BIOCOMBUSTIBILI: OPPORTUNITÀ O MENO DELL'USO (DIBATTITO / LEZIONE INTERATTIVA)

Una volta concluse le attività in laboratorio di Chimica, gli studenti sono invitati a riflettere sull'effettiva ragionevolezza dell'uso dei biocombustibili, su vantaggi e svantaggi della loro produzione, sugli aspetti etici e ambientali che ne sono coinvolti soprattutto quando i biocombustibili vengono prodotti direttamente da materia prima, così come viene illustrato in questa sezione.

Vediamo innanzi tutto la situazione attuale nei suoi vantaggi: la combustione del biodiesel avviene in teoria a “emissione zero” relativamente alla CO₂, infatti il carbonio bruciato nel biocombustibile deriva direttamente dalla CO₂ presente in atmosfera che le piante grazie alla fotosintesi hanno trasformato in glucosio, e in seguito, tramite processi più complessi, in trigliceridi. Questo significa che si restituisce all'ambiente esattamente la stessa quantità di CO₂ a esso sottratta, limitando in parte il problema dei gas di serra.

²⁴ Proprietà questa che non è stata misurata in laboratorio e che si identifica con la temperatura minima alla quale il combustibile inizia spontaneamente a bruciare in presenza d'ossigeno senza l'intervento di un innesco.

A differenza del gasolio, inoltre, il biodiesel non contiene componenti aromatici né zolfo, quindi la sua combustione non porta a emissioni di sostanze inquinanti o tossiche. Anche le emissioni di particolato risultano essere complessivamente il 32% e quelle di monossido di carbonio CO il 35%, rispetto a quelle del gasolio²⁵.

La produzione di biodiesel non richiede particolari modifiche a infrastrutture logistiche di distribuzione, né a motori. Vi è inoltre notevole flessibilità per la scelta di materia prima (oli vegetali, grassi animali, alghe).

Per tali motivi sembra che il biodiesel possa essere una ragionevole alternativa al diesel fossile, tanto che i nuovi orientamenti nella politica energetica europea ne favoriscono la produzione: nel 2020 si vorrebbe raggiungere il traguardo di utilizzare 10 parti di biodiesel ogni 100 parti di gasolio/diesel (si ricordi che già con un rapporto 20 /100 vi sarebbe una forte riduzione di immissione di anidride carbonica nell'atmosfera).

Permangono comunque molti dubbi. Dubbi per l'economia: per il momento le raffinerie non riescono a produrre biodiesel per tutto l'anno, ciò in dipendenza dalle stagioni, dai prezzi, ecc. Ma soprattutto vi è il pericolo che la grande richiesta di produzione agricola per la materia prima porti a forti aumenti di prezzo per molti prodotti agricoli. Si creerebbe dunque una grande competizione di queste colture con quelle da cibo.

Dubbi permangono ancora per l'ambiente: sembra che i benefici a conti fatti siano "impalpabili" dal punto di vista ambientale: si tenga conto delle gravi carenze idriche che potrebbero conseguire alla grande richiesta d'acqua per irrigazione e al pericolo di sostanze nocive dovute al vasto impiego di fertilizzanti.

Dubbi dal punto di vista energetico: sembra che l'energia richiesta per produrre la materia prima sia a conti fatti maggiore di quella ottenuta²⁶.

Si potrà dunque valutare un serio uso delle biomasse per produzioni di carburanti solo se esse non competeranno con quelle da cibo, non contribuiranno all'immissione di

²⁵ CARICATO L. (a cura di), 2011.

²⁶ MONTI A., VENTURI G., 2008, pp. 152-157.

ossidi d'azoto nell'atmosfera causa l'impiego di particolari fertilizzanti e se verrà consentita una conversione efficiente e competitiva dal punto di vista economico.

Vediamo come si potrebbero superare alcuni problemi primari: per quanto riguarda il problema dell'alto consumo di risorse idriche, si stanno studiando coltivazioni con ridotte necessità idriche o coltivazioni particolari. Per esempio, la coltivazione di alghe, che presentano variabile capacità di accumulo di lipidi a seconda della specie e che, inoltre, per crescere “divorano” una notevole quantità di anidride carbonica.

Per evitare la competizione di queste colture con quelle da cibo, dal momento che nelle piante oleaginose gli oli sono presenti nei semi, sarebbe necessaria la massimizzazione della quantità di semi e del contenuto di lipidi in essi. In questo senso, soia, colza e girasole sono ottime piante oleaginose, peccato che siano colture da cibo.

Del resto le piante alternative non alimentari (es. ricino, tabacco, gomma) non sono altrettanto reperibili e, soprattutto, presentano percentuali di acidità ben maggiori. Si ricorda che l'acidità di un olio è dovuta alla presenza di acidi grassi liberi (FFA).

Da studi eseguiti su oli di semi non deacidificati si sa che l'ammontare del processo di transesterificazione con catalisi basica diminuisce notevolmente per oli con valori in FFA maggiori del 2% e che il processo addirittura non si verifica per valori maggiori del 3%²⁷. Per evitare questo vi sono alcuni metodi di deacidificazione preventiva, ma in genere ciò comporta elevati costi di investimento e condizioni di lavoro molto drastiche che costituiscono un problema pressoché insormontabile per la maggior parte dei piccoli produttori europei.

Una risorsa di materia prima, almeno a livello locale, potrebbe essere il riciclaggio degli oli alimentari esausti da industria alimentare. Si tratta in massima parte di oli usati per frittura. Durante la frittura, si innescano reazioni secondarie i cui prodotti si sciolgono parzialmente nell'olio e lo compromettono dal punto di vista alimentare. Non è consigliabile dunque riciclare l'olio di frittura per scopi alimentari né è corretto disperderlo nell'ambiente.

²⁷ CANACKI VAN GERPAN, 2001, pp. 1429-1436.

D'altro canto, per la maggior parte, i trigliceridi non vengono demoliti durante la frittura e il loro valore energetico permane anche nell'olio esausto. Un'idea interessante potrebbe essere utilizzare quest'olio come fonte di energia sotto forma di biodiesel. È chiaro che prima di utilizzarlo a tale scopo, esso dovrebbe essere opportunamente trattato in condizioni ben controllate, al fine sia di ottenere un buon prodotto, sia di preservare l'ambiente.

È chiaro inoltre che la messa in opera di tale iniziativa a livello industriale implicherebbe la risoluzione di altre problematiche: l'organizzazione di un'efficiente rete di raccolta, la scelta di un luogo di produzione che utilizzi energia pulita e da fonti rinnovabili, il riciclo dei sottoprodotti industriali (glicerina) ne sono solo alcuni esempi. Ebbene, questi sono alcuni aspetti primari del problema, quelli a cui il chimico può essere più sensibile e che il docente di Chimica riesce a "ritagliare" all'interno delle sue lezioni. In realtà il problema nel suo insieme è ben complesso e non solo dal punto di vista scientifico; in esso, infatti, afferiscono risvolti di tipo politico ed economico di grande attualità e gli interessi in gioco sono molteplici e spesso in conflitto tra loro. In queste condizioni cercar di fare buona divulgazione scientifica è questione difficile, delicata e a volte rischiosa.

La riflessione su questi aspetti economico-sociali è difficile da maneggiare anche per un adulto esperto, figurarsi per un adolescente. È proprio per questo che ogni insegnante con i suoi propri criteri di scientificità e nel rispetto dei criteri tipici delle altre scienze sperimentali, ma anche delle scienze applicate, dell'economia e della storia, dovrebbe farsene carico. Dovrebbe trovare spazi in cui riflettere assieme ai propri allievi, in cui fare "laboratorio di idee", soprattutto in un rapporto paritario con essi.

È solo così che il giovane può raggiungere risultati di apprendimento che gli permettano di crescere nella propria formazione in maniera il più possibile autonoma. Ed è anche così che l'adulto, come insegnante e come cittadino, troverà occasione di riconsiderare in maniera critica e continua le proprie posizioni e i propri atteggiamenti.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il prof. Giacomo Costa, ideatore dell'incontro "L'energia ed il laboratorio didattico", la prof.ssa Nadia Gasparinetti dell'I. C. "Divisione Julia" (Trieste) compagna di "avventure didattiche" nell'ambito di "Chimica e cucina", il personale tutto del Laboratorio di Chimica dell'I.T.I. "A. Volta" (Trieste) per aver attuato e perfezionato negli anni la parte esecutiva. In particolare al prof. Marco Nevyjel, docente di chimica, e all'epoca specializzando SSIS, il riconoscimento e il ringraziamento per aver lanciato l'idea di un percorso didattico centrato sulle fonti di energia alternative.

BIBLIOGRAFIA

ARESTA M.

2011, *CO₂: rifiuto o risorsa?*, "CnS" Giornale di Didattica e Cultura della Società Chimica Italiana, 2 maggio.

BARDI U., PAGANI M.

2008, *Il picco dei minerali*, in "La Chimica & l'Industria" Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana, 08 ottobre.

BERG J., TYMOCZKO J., STRYER L.

2003, *Biochimica*, Bologna, Zanichelli.

CANACKI M., VAN GERPAN J.

2001, "Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids" in "Soil & Water Division of ASAE", 44.

CARVOLI G., RAGAINI V., SOAVE C.

2008, *Il futuro è dietro l'angolo*, in "La Chimica & l'Industria" Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana, 1 gen/feb.

JOHSTONE A. H., WEBB G.

2002, *Energia, caos e reazioni chimiche*, Padova, Piccin.

KERROD R., HOLGATE S. A.

2002, *The Way Science Works*, Londra, Dorling Kindersley.

MONTI A., VENTURI G.

2008, *I limiti alla destinazione energetica delle biomasse*, in "La Chimica & l'Industria" Organo Ufficiale della Società Chimica Italiana, 9 novembre.

MORRISON R. T., BOYD R. N.

1970, *Chimica organica*, Milano, Ambrosiana.

PER APPROFONDIRE

ATKINS P. W.

2001, *Il secondo principio*, Bologna, Zanichelli.

BAGATTI F., CORRADI E., DESCO A., ROPA C.

2008, *A tutta chimica*, Bologna, Zanichelli.

BROWN W. H.

2005, *Introduzione alla chimica organica*, Napoli, EdiSES.

D.P.R. 15 MARZO 2010, ARTICOLO 8, COMMA 3

Istituti Tecnici, Linee guida per il passaggio al Nuovo Ordinamento.

MASTERTON W. L., HURLEY C. N.

2003, *Chimica. Principi e reazioni*, Padova, Piccin.

SITOGRAFIA

CARICATO L. (A CURA DI)

2011, *L'olio di colza è un ottimo carburante, attenzione però al fai da te*, Teatro Naturale, 9, n. 29, <www.teatronaturale.it/strettamente-tecnico/bio-e-natura/1353-la.htm>, sito consultato il 25/08/2011.

LOIACONO S.

2011, *L'olio di colza nel motore*, garagetorino, <www.garagetorino.com/tecnica/Olio_di_colza.asp>, sito consultato il 27/08/2011.

MARTINELLO P. (A CURA DI)

2011, *Olio di colza, non direttamente nel motore*, Altroconsumo, <www.altroconsumo.it/carburanti-e-inquinamento/olio-di-colza-non-direttamente-nel-motore-s84311.htm>/Rivista», n. fascicolo, pp. inizio-fine.

RAMADHAS A. S., JAYARAJ S., MURALEEDHARAN C.

2005, *Biodiesel production from highFFA rubber seed oil*, Fuel vol. 84, <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00162361>>, sito consultato il 18/08/2011.

WIKIPEDIA

2011, *Biodiesel*, Wikipedia l'enciclopedia libera, <it.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>, sito consultato il 18/08/2011.