

Università Cattolica del Sacro Cuore, sede di Piacenza

Corso di Green Chemistry Technologies in Agro-Food Chains

Palme da olio o produzione di lipidi da lieviti?

Le nuove frontiere delle bioenergie

Autore: Davide Scaccini

Palme da olio o produzione di lipidi da lieviti?

Le nuove frontiere delle bioenergie

Davide Scaccini

(Giugno 2015)

Introduzione

L'impatto dell'uomo sull'ambiente ha acquistato un'importanza sempre maggiore negli ultimi secoli, tanto da arrivare a parlare di Antropocene (Krutzen, 2005). In risposta alle problematiche create, le energie rinnovabili hanno acquistato a loro volta un peso sempre maggiore, per perseguire i principi di sostenibilità (Rapporto Brundtland, 1987).

La coltivazione della palma da olio riguarda le filiere alimentari, farmaceutiche e di cosmesi, e le bioenergie. La specie più coltivata è *Elaeis guineensis*, originaria dell'Africa orientale ed esportata per una prima grande piantagione nel 1911 sull'isola di Sumatra (Hartley, 1977). Adatta a crescere in ambienti tropicali, trova condizioni adatte in Indonesia e Malesia (Koh & Wilcove, 2008; Liew *et al.*, 2015) (quest'ultima produce quasi il 50 % del rifornimento mondiale di olio di palma – Sumathi *et al.*, 2008). Con una durata economica della piantagione di 25-30 anni e una produzione di frutti durante tutto l'anno, le rese globali medie si attestano attorno ai 3.5 Mg di olio per ettaro (con massima teorica di 11-18 Mg) (Barcelos *et al.*, 2015).

Il frutto della palma da olio presenta una noce interna dura, circondata dal mesocarpo (o polpa) (Corley & Tinker, 2003). Dal mesocarpo si estrae l'olio di palma, e dal seme l'olio di palmisto (o di semi di palma) (Hartley, 1977; Corley & Tinker, 2003; Barcelos *et al.*, 2015). Durante la molitura sono prodotti effluenti (Palm Oil Mill Effluent, POME) potenzialmente inquinanti; i POME possono essere impiegati per la produzione di energia (Sumathi *et al.*, 2008).

Nel settore alimentare, il suo utilizzo (per biscotti, cracker, brioches, zuppe, salse, creme, margarine, frittture ecc.) è giustificato dai bassi costi, dalla comodità d'uso e dalla versatilità in cucina; inoltre è un ingrediente che non altera i sapori (Brown & Jacobson, 2005). Si consigliano assunzioni equilibrate per via dell'alto contenuto di grassi saturi (come il palmitico, lo stearico e il laurico, comunque non presenti solo nell'olio di palma) (si vedano fra i numerosi studi: Cottrell, 1991; Barcelos *et al.*, 2015).

Oggi i trend di richiesta del prodotto sono in costante aumento, in particolare da Cina e India (Koh & Wilcove, 2007). Dal 36.5 % della produzione mondiale di olio da vegetali nel 2010, diventerà probabilmente la principale entro il 2016 (Choong & McKay, 2014); per il 2050 la domanda mondiale di oli vegetali potrà raggiungere i 240 milioni di Mg (Barcelos *et al.*, 2015).

Gli oli derivati dalla lavorazione del frutto della palma possono ritrovare impieghi nelle bioenergie (Yusoff, 2006), con buone qualità fisico-tecniche per il biodiesel (Benjumea *et al.*, 2008; Manik & Halogy, 2013) (biodegradabilità, non tossicità e minori emissioni dalla combustione rispetto al petro-diesel – Sumathi *et al.*, 2008); vengono anche usati come miscele al gasolio tradizionale, oppure transesterificati (ottenendo come coprodotto il glicerolo) (Al-Widyan & Al-Shyoukh, 2002).

La filiera della palma da olio ascrive un'elevata produzione di gas ad effetto serra (GreenHouse Gas, GHG) (la conversione dalle foreste originarie provoca un'emissione in CO₂ equivalenti di 60 Mg ha⁻¹ y⁻¹; dall'altra parte una conversione da terre abbandonate o da prati a coltivazioni di palme permette il sequestro di 5 Mg ha⁻¹ y⁻¹ di CO₂ equivalenti – Manik & Halogy, 2013). È riconosciuto anche un impatto legato alla deforestazione e alla perdita di biodiversità (fisiologicamente alta ai tropici – Myers *et al.*, 2000; Wilson, 2008), all'aumento di acidità dei suoli, alla tossicità e all'eutrofizzazione (Manik & Halogy, 2013), arrivando anche ad una "omogeneizzazione biologica" sempre difficile da quantificare (Immerzeel *et al.*, 2014). Si stima che 1/4 delle foreste indonesiane siano andate perdute per far spazio alla coltivazione di palme da olio; nel 2008 sono stati usati 33.3 milioni di ettari per la produzione di bioenergie e dei suoi coprodotti. Inoltre, rispetto agli ambienti non coltivati nel sud-est asiatico, le piantagioni di

palme hanno l'85 % della biodiversità in meno (Fragione *et al.*, 2010). (Si vedano ad esempio alcuni ultimi studi: Koh & Wilcove, 2008; WWF, 2014; Abram *et al.*, 2015; Cunha *et al.*, 2015)

Altri studi hanno invece dimostrato il contrario (Gilroy *et al.*, 2015). Data l'alta produttività e i bassi input, la coltura è inoltre considerata sostenibile e rinnovabile rispetto ad altre colture alimentari, oleochimiche o per le bioenergie; il suo sviluppo incrementa la qualità della vita delle persone e aiuta ad alleviare la povertà degli agricoltori locali (Basiron, 2007; Sumathi *et al.*, 2008), creando benefici sociali evidenti (Nelson *et al.*, 2014). È altresì una filiera controllata da diversi enti aventi standard molto rigidi da rispettare (Englund & Berndes, 2015). In Papua Nuova Guinea la deforestazione per la coltivazione delle palme da olio è probabilmente la maschera di altre operazioni di deforestazione (Nelson *et al.*, 2014).

Si rivela pertanto una necessità di studio minuzioso del sistema, con approcci olistici e interdisciplinari per le analisi LCA (Life Cycle Assessment) (Eddy & Gergel, 2015) e per la realizzazione di modelli integrati (Choong & McKay, 2014). Le conoscenze ottenute dal sequenziamento del genoma della palma da olio (nel 2013) potranno contribuire agli aumenti delle rese di produzione.

Discussione

Presentazione del metodo indagato

I processi biologici di natura fermentativa, quelli per la produzione di gas combustibili e gli altri per la sintesi di nuove sostanze utili per l'uomo sono studiati nella realizzazione e gestione delle bioraffinerie. In tutti questi casi un approccio di Green Chemistry è necessario, oltre che fondamentale, con il perseguimento degli obiettivi dettati da questa disciplina (Lancaster, 2002).

Una delle principali fonti di bioenergia deriva dalla metabolizzazione di lipidi di alcuni vegetali (come l'olio di palma) per l'ottenimento di bioetanolo e biodiesel (Escobar *et al.*, 2009). Le colture interessate competono in termini di risorse con quelle impiegate per l'alimentazione, tanto che spesso l'immagine pubblica è resa in questo modo negativa (Fragione *et al.*, 2008). In alternativa possono essere impiegati organismi, in coltura pura o in miscuglio (Ling *et al.*, 2014), fra cui le microalghe (Medipally *et al.*, 2015), i batteri, i funghi (Cheirsilpa & Kitchab, 2015; Yen & Chang, 2015) e i lieviti (Santamauro *et al.*, 2014; Tchakouteu *et al.*, 2015); questi sono definiti "oleaginosi" se producono elevate concentrazioni di lipidi (Jin *et al.*, 2015). Per le varie tecnologie i materiali di partenza sono spesso differenti.

Colture di alghe hanno potenzialmente buone rese, ma necessitano di condizioni di crescita più restrittive rispetto ai lieviti (ad esempio necessitano di luce per fotosintetizzare). In generale, i lieviti detti oleaginosi possono avere una produzione di lipidi che raggiunge il 65 % del peso secco; questi sono in grado di crescere ad alte densità e senza la necessità di fonti di luce. Una limitazione può però essere data dagli alti costi per il mantenimento di una coltura axenica (pretrattamenti del materiale in ingresso, mantenimento delle condizioni durante le fasi di crescita e fermentazione) (Koutinas *et al.*, 2014).

Secondo uno studio recente di Santamauro *et al.* (2014), una soluzione può essere l'impiego di lieviti estremofili, che vivono a pH, temperatura o salinità estremi. Il lievito *Metschnikowia pulcherrima* (già impiegato nell'Enologia) può vivere ad elevate acidità (pH tra 3 e 4) e concentrazioni zuccherine (maggiore di 100 g L⁻¹), resistendo alla competizione con altri organismi. La combinazione tra acidofilia e secrezione di composti antibiotici ne permettono la coltivazione anche in condizioni di non sterilità del brodo di coltura.

M. pulcherrima è una specie non oleaginosa. Con il sopraggiungere di stress ambientali (ad esempio carenze di azoto), però, la coltura va in una fase di transizione verso la sporulazione (fase delle "cellule-tipo pulcherrima transizionali"), accumulando alti quantitativi di lipidi.

La produzione di olio ottenuta è favorita dalle temperature medio-basse. Sono raggiunti valori di biomassa secca di 6 g L⁻¹ se coltivati ad una temperatura compresa tra 15 e 20°C; da questo punto di vista, i lieviti sono coltivabili all'aperto negli ambienti freschi come quelli del Nord Europa. Oltre a questo, indipendente dal pH iniziale è stata calcolata una produzione di biomassa costante attorno ai 5 g L⁻¹. *M. pulcherrima* ha inoltre la tendenza ad acidificare il brodo stesso di coltura, facilitando così la competizione verso organismi non desiderati. Una buona elasticità nella produzione si ha anche per il consumo di azoto in alcune sue diverse forme. Sono altresì studiate le concentrazioni ottimali o quelle

limitanti di composti solforati e di micronutrienti, con cali soltanto lievi se in carenze o eccessi degli uni o degli altri. La coltura manifesta, quindi, un'elevata flessibilità anche per gli aspetti di nutrizione.

La massima produzione di biomassa è ottenibile con l'impiego nel substrato del glicerolo (uno degli scarti derivati dalla produzione di bioenergie) concentrato al 9 %.

Come alternativa al substrato alimentare di partenza è stato anche valutato l'impiego di materiali ligno-cellulosici, in particolare derivati da scarti agricoli e alimentari. In tali casi gli zuccheri principali a disposizione dei lieviti sono glucosio, arabinosio, xilosio, cellobiosio e qualche oligosaccaride minore; la produzione dipende fortemente dalla composizione di partenza e dal metodo, rimanendo però simile a quella derivata dal glicerolo.

La coltura può essere sviluppata in tank all'aperto, tenendo lievemente mescolato il *pabulum*. Nello studio sono stati utilizzati contenitori con capienza di 500 L, tenuti a temperatura controllata in serre. È stato mantenuto un pH ottimale aggiungendo HCl oppure KOH a seconda dei casi. In definitiva, nonostante una produzione inferiore rispetto a quella di laboratorio (34 % di olio estratto contro valori vicini al 40 % in laboratorio), il metodo dimostra performance notevoli, simili a quelle ottenute in colture di microalghe e, anche, in condizioni sub-ottimali. Il mantenimento della coltura in tank dura circa un mese.

Per la caratteristica innovativa, l'applicabilità e l'alta produzione di oli (chimicamente in percentuali simili a quelli ottenibili dalla lavorazione della palma), il metodo è stato brevettato. Non sono comunque previsti impieghi diretti per l'alimentazione umana.

Considerazioni sul metodo indagato

L'impiego di microrganismi per la produzione di composti utili si ripercuote notevolmente sui bilanci di sostenibilità delle filiere ad essi relativi, sia in positivo che in negativo.

Una filiera di questo tipo può essere analizzata attraverso la valutazione dei principi di Green Chemistry. Il metodo ha rivelato un'alta elasticità e capacità di adattamento alle diverse condizioni di coltivazione, anche a quelle meno controllate e non axenico-indotte. Questo vantaggio tecnico ne permette l'applicabilità nelle condizioni di non sterilità, e in semplici contenitori (tank, nella fattispecie da 500 L) con pale per la movimentazione lieve ma continua del materiale; i contenitori possono essere allestiti quasi all'aperto, ma necessitano di una protezione dagli eventi atmosferici e dagli sbalzi termici, limitandone l'uso solo in certe aree (o macroaree) del globo (viste le efficienze ottenibili alle temperature medio-basse). Altri studi potranno essere eseguiti per valutare la possibilità di contaminazioni da parte di organismi di altro tipo, ad esempio in casi di infestazione da certi insetti (come certi Ditteri Sirfidi, le cui larve vivono solitamente in condizioni di immersione in ambienti stressati, come alcuni effluenti zootecnici). In tali casi potrebbe quindi essere necessario l'allestimento di zone chiuse e l'applicazione di reti anti-insetto. Un forte pregio specifico di questa metodologia è però l'elevata elasticità sia per le condizioni di crescita (pH, zuccheri, salinità, temperatura), sia per i composti usati per alimentare la coltura (dal rifornimento di azoto, a quello di zuccheri, ai micronutrienti o ai composti solforati); un'elasticità di questo tipo è richiesta per potersi inserire all'interno di diverse filiere (ad esempio a valle per certi scarti agricoli vegetali), senza compromettere la produttività del sistema. Un notevole altro punto a vantaggio è la possibilità di utilizzare spazi limitati, andando così a ridurre secondo le stime da 10 a 100 volte l'uso delle terre agricole (obiettivo interessante visti i trend di crescita della popolazione umana nel mondo). Non si tratta, inoltre, di una coltura che sottrae alimenti umani o zootecnici per la produzione di bioenergie (i vegetali da impiegare sono idealmente prodotti di scarto). Per un aumento di produzioni e una diminuzione degli scarti sono necessari studi sistemici ingegneristici, anche dal punto di vista della biologia del lievito stesso; non sono perciò da escludere studi di ingegneria genetica, fino alla realizzazione di OGM.

Un aspetto ancora da chiarire è relativo ai materiali di risulta ottenuti dalle colture in tank. Bisogna valutare la tipologia di composti (e presenze eventuali di sostanze tossiche o nocive, o anche solo non distribuibili liberamente nell'ambiente), il loro quantitativo e la loro gestione finale. È possibile un re-impiego in altre filiere?

In base alle considerazioni precedenti potrebbero essere altresì auspicabili dei sistemi di depurazione dei "fanghi" o sistemi di gestione degli inquinanti nelle fasi di pulizia e lavaggio allo svuotamento degli impianti (si veda ad esempio il

biobed classico o quello fuorisuolo), specialmente nel caso in cui il sistema di produzione si dovesse allargare su ampia scala. Non sembra per ora esserci la necessità di impiego dell'uno o dell'altro sistema. La gestione del materiale di scarto ha sicuramente maggiori vincoli, inoltre (e specialmente in certe zone del mondo), nei casi in cui si ha a che fare con OGM.

In attesa di un'applicazione su scale più ampie è auspicabile una scelta di utilizzo di materiali a basso impatto e rinnovabili, anche se si tratta in genere di materiali riutilizzabili.

I composti lipidici ottenibili hanno caratteristiche simili a quelli derivati dalla coltivazione e molitura per l'olio di palma. È perciò inevitabile che la filiera *M. pulcherrima* possa andare in competizione diretta con quella della *E. guineensis*, in particolare per la produzione di bioenergie. In questo senso gli esiti sono molteplici e, spesso, difficili da prevedere.

In prima battuta, va tenuta presente la quantità (oltre che la qualità) dei prodotti desiderati, anche per competere in costi con le produzioni di olio di palma; per maggiori rese, e nonostante l'alta elasticità del metodo, sono necessarie materie prime standard. Se non si riuscissero ad ottenere materiali in ingresso di alto valore dalle filiere già esistenti sarà necessario un ulteriore passaggio (e quindi ulteriori costi anche economici) di standardizzazione. La distribuzione sul mercato del materiale grezzo o lavorato proveniente da *M. pulcherrima* può provocare ancora costi ambientali e le difficoltà pratiche, per ora molto difficili da valutare e da calcolare in approcci di LCA.

La vasta quantità di materiale scientifico (e opinionistico) discordante non permette una corretta analisi del sistema, comunque molto complesso e poco prevedibile. Se per ipotesi l'economia globale dovesse spostarsi sulla coltivazione di *M. pulcherrima* a spese di quella di *E. guineensis* ci saranno forti implicazioni sull'intero sistema. Da una parte un arresto della deforestazione per la coltivazione della palma da olio e una riduzione delle emissioni di GHG ad essa correlata, dall'altra uno spostamento delle economie dalle zone indonesiane alle nuove aree di allestimento delle colture di lieviti in tank. Viste le prerogative di crescita non sarebbe possibile coltivare i lieviti nelle aree indonesiane o malesi, tanto che si avrebbe la necessità di spostare l'economia da un paese già non molto ricco a paesi come il Nord Europa o il Nord America. Relativamente alla sostenibilità sociale ed economica si avrebbe un importante impoverimento sia delle finanze dei paesi legati alla produzione delle palme da olio, sia del lavoro delle persone locali. Nonostante non ci siano molte documentazioni di casi di incidenti sul lavoro in quelle aree, un vantaggio sociale, dall'altra parte, potrebbe essere ricondotto ad una maggior sicurezza lavorativa per gli operatori rispetto alle coltivazioni di palme.

Conclusione

La coltivazione della palma da olio è una di quelle con maggior profitto negli areali tropicali umide; può pertanto alleviare la povertà e, grazie ad alcuni composti presenti nell'olio, può fornire una semplice soluzione pratica nell'eliminazione della deficienza di pro-vitamina A nell'alimentazione delle popolazioni sottosviluppate. Gli impatti accertati sono relativi ai servizi ecosistemici e all'emissione di GHG, anche se rimangono da quantificare e valutare.

Sullo stesso piano le nuove tecnologie e gli studi ingegneristici e bioingegneristici possono sviluppare produzioni per delle bioenergie analoghe e a bassi impatti, con buone efficienze anche in condizioni non ottimali. Un'attenta valutazione di tutti gli impatti e una corretta analisi del ciclo di vita dei prodotti dovrebbe essere eseguita per le varie filiere che entrano in gioco, al fine di raggiungere obiettivi ampi e concreti di sostenibilità, anche in sistemi così dibattuti. Gli aspetti di ricerca, per tutti questi motivi, restano fondamentali.

Non è da escludere un connubio tra le diverse produzioni esistenti o potenziali (anche non descritte in queste pagine). Tale connubio è necessario per calmierare gli impatti negativi da un lato, e massimizzare i differenti aspetti positivi di sostenibilità e, più in generale, di Green Chemistry dall'altro. Non è quindi questo il progresso sostenibile?

Bibliografia e siti

Bibliografia

- Abram N. K., Meijaard E., Wells J. A., Ancrenaz M., Pellier A.-S., Runtig R. K., Gaveau D., Wich S., Nardiyono, Tjiu A., Nurcahyo A., Mengersen K., 2015. Mapping perceptions of species' threats and population trends to inform conservation efforts: the Bornean orangutan case study. *Diversity and Distributions* 21: 487-499.
- Al-Widyan M. I., Al-Shyoukh A. O., 2002. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresource Technology* 85 (3): 253-256.
- Baer D. J., Judd J. T., Clevidence B. A., Tracy R. P., 2004. Dietary fatty acids affect plasma markers of inflammation in healthy men fed controlled diets: a randomized crossover study. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79: 969-973.
- Barcelos E., Rios Sde A., Cunha R. N., Lopes R., Motoike S. Y., Babiychuk E., Skirycz A., Kushnir S., 2015. Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Frontiers in Plant Science* 6 (190): 1-16.
- Basiron Y., 2007. Palm oil production through sustainable plantations. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109 (4): 289-295.
- Benjumea P., Agudelo J., Agudelo A., 2008. Basic properties of palm oil biodiesel-diesel blends. *Fuel* 87 (10-11): 2069-2075.
- Brown E., Jacobson M. F., 2005. *Cruel Oil. How Palm Oil Harms Health, Rainforest and Wildlife*. Center for Science in the Public Interest, Washington, pp. V + 40.
- Cheirsilpa B., Kitchab S., 2015. Solid state fermentation by cellulytic oleaginous fungi for direct conversion of lignocellulosic biomass into lipids: Fed-batch and repeated-batch fermentations. *Industrial Crops and Products* 66: 73-80.
- Choong C. G., McKay A., 2014. Sustainability in the Malaysian palm oil industry. *Journal of Cleaner Production* 85: 258-264.
- Corley R. H. V., Tinker P. B. H., 2003. *The Oil Palm*. Wiley-Blackwell, 4^a edizione, pp. 592.
- Cottrell R. C., 1991. Introduction: nutritional aspects of oil palm. *The American Journal of Clinical Nutrition* 53 (4 Suppl.): 989S-1009S.
- Cunha J. C., Fogaça L., Montag A., Juen L., 2015. Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. *Ecological Indicators* 52: 422-429.
- Eddy I. M. S., Gergel S. E., 2015. Why landscape ecologists should contribute to life cycle sustainability approaches. *Landscape Ecology* 30 (2): 215-228.
- Englund O., Berndes G., 2015. How do sustainability standards consider biodiversity? *WIREs Energy and Environment* 4 (1): 26-50.
- Escobar J. C., Lora E. S., Venturini O. J., Yanez E. E., Castillo E. F., Almazan O., 2009. Biofuels: environment, technology and food security. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 13: 1275-1287.
- Fragione J. E., Hill J., Tilman D., Polasky S., Hawthorne P., 2008. Land clearing and the biofuel carbon diet. *Science* 319: 1235-1238.
- Fragione J. E., Plevin R. J., Hill J. D., 2010. The Ecological Impact of Biofuels. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41: 351-377.
- Gilroy J. J., Prescott G. W., Cardenas J. S., Castañeda P. G., Sánchez A., Rojas-Murcia L. E., Medina Uribe C. A., Haugaasen T., Edwards D. P., 2015. Minimizing the biodiversity impact of Neotropical oil palm development. *Global Change Biology* 21: 1531-1540.
- Hartley C. W. S., 1977. *The oil palm (Tropical agriculture)*. Prentice Hall Press, 2^a edizione, pp. 836.
- Immerzeel D. J., Verweij P. A., van der Hilst F., Faaij A. P. C., 2014. Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. *Global Change Biology Bioenergy* 6: 183-209.
- Jin M., Slininger P. J., Dien B. S., Waghmode S., Moser B. R., Orjuela A., da Costa Sousa L., Balan V., 2015. Microbial lipid-based lignocellulosic biorefinery: feasibility and challenges. *Trends in Biotechnology* 33 (1): 43-54.
- Koh L. P., Wilcove D. S., 2007. Cashing in palm oil for conservation. *Nature* 448 (7157): 993-994.
- Koh L. P., Wilcove D. S., 2008. Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? *Conservation Letters*, 1: 60-64.
- Koutinas A. A., Chatzifragkou A., Kopsahelis N., Papanikolaou S., Kookos I. K., 2014. Design and techno-economic evaluation of microbial oil production as a renewable resource for biodiesel and oleochemical production. *Fuel* 116: 566-577.
- Krutzen P. J., 2005. *Benvenuti nell'Antropocene. L'uomo ha cambiato il clima, la Terra entra in una nuova era*. Mondadori, pp. 94.
- Lancaster M., 2002. *Green Chemistry: An Introductory Text*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 310.
- Liew W. L., Kassim M. A., Muda K., Loh S. K., Affam A. C., 2015. Conventional methods and emerging wastewater polishing technologies for palm oil mill effluent treatment: A review. *Journal of Environmental Management* 149: 222-235.
- Ling J., Nip S., Cheok W. L., de Toledo R. A., Shim H., 2014. Lipid production by a mixed culture of oleaginous yeast and microalga from distillery and domestic mixed wastewater. *Bioresource Technology* 173: 132-139.
- Manik Y., Halogy A., 2013. A Meta-Analytic Review of Life Cycle Assessment and Flow Analyses Studies of Palm Oil Biodiesel. *Integrated Environmental Assessment and Management* 9 (1): 134-141.

- Medipally S. R., Yusoff F. M., Banaerjee S., Shariff M., 2015. Microalgae as Sustainable Renewable Energy Feedstock for Biofuel Production. *BioMed Research International*, Article ID 519513, pp. 13.
- Myers N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., da Fonseca G. A. B., Kent J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nelson P. N., Gabriel J., Filer C., Banabas M., Sayer J. A., Curry G. N., Koczberski G., Venter O., 2014. Oil Palm and Deforestation in Papua New Guinea. *Conservation Letters* 7 (3): 188-195.
- Santamauro F., Whiffin F. M., Scott R. J., Chuck C. J., 2014. Low-cost lipid production by an oleaginous yeast cultured in non-sterile conditions using model waste resources. *Biotechnology for Biofuels* 7: 34-44.
- Santomauro F., Whiffin F. M., Scott R. J., Chuck C. J., 2014. Correction: Low-cost lipid production by an oleaginous yeast cultured in non-sterile conditions using model waste resources. *Biotechnology for Biofuels* 7: 34-44.
- Sumathi S., Chai S. P., Mohamed A. R., 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (9): 2404-2421.
- Tchakouteu S. S., Kalantzi O., Gardeli C., Koutinas A. A., Aggelis G., Papanikolau S., 2015. Lipid production by yeasts growing on biodiesel-derived crude glycerol: strain selection and impact of substrate concentration on the fermentation efficiency. *Journal of Applied Microbiology* 118 (4): 911-927.
- Wilson E. O., 2008. *La creazione*. Adelphi Editore, pp. 198.
- WWF, 2014. *Living Planet Report 2014. Species and spaces, people and place*. WWF International, pp. 176.
- Yen H.-W., Chang J.-T., 2015. Growth of oleaginous *Rhodotorula glutinis* in an internal-loop airlift bioreactor by using lignocellulosic biomass hydrolysate as the carbon source. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 119 (5): 580-584.
- Yusoff S., 2006. Renewable energy from palm oil – innovation on effective utilization of waste. *Journal of Cleaner Production* 14 (1): 87-93.

Siti

- "Tutta la verità sull'olio di palma" (di Pace A., 2015): <http://www.wired.it/scienza/medicina/2015/05/08/tutta-verita-olio-di-palma/>
- Blogeko – Il blog che ama il pianeta, alternativa all'olio di palma (di Perotta M., 2015): <http://iljournal.today/blogeko/2015/02/18/olio-di-palma-da-un-lievito-potrebbe-arrivare-lalternativa-al-grasso-che-distrugge-le-foreste/>
- Chimica Verde bionet: <http://www.chimicaverde.it/green-chemistry-exhibition/>
- Chimica Verde Lombardia, alternativa all'olio di palma: <http://www.chimicaverdelombardia.it/blog-categories/blog-donec-eu-elit-in-nisi/141-un-alternativa-sostenibile-all-olio-di-palma.html>
- Method of increasing lipid accumulation in *Metschnikowia pulcherrima* cells, Brevetto: <http://www.google.com/patents/WO2014122439A1?cl=en>
- Official Portal Of Malaysian Palm Oil Board: <http://www.mpob.gov.my/>
- Rapporto Brundtland, 1987: <http://online.scuola.zanichelli.it/50lezioni/files/2010/01/RapportoBrundtland.pdf>
- Spot umoristico olio di palma: <https://www.youtube.com/watch?v=VPlxNhEc2IA>

Ringraziamenti

Si desiderano ringraziare per una revisione di queste pagine il Dott. Paolo Pizzocheri e la Dott.ssa Alice Senizza. Si ringrazia inoltre il Prof. Ettore Capri, senza il quale il presente lavoro non sarebbe mai venuto alla luce.