

RIVISTA GIURIDICA DELL'AMBIENTE

Anno XXVII Fasc. 2 - 2012

Stefano Nespòr

**LA BIOLOGIA SINTETICA E
L'AMBIENTE**

Estratto



Milano • Giuffrè Editore

La biologia sintetica e l'ambiente

STEFANO NESPOR

1. La creazione non è finita. — 2. Che cos'è la biologia sintetica? — 3. I primi passi. — 4. Biologia sintetica e ambiente. — 5. Oltre il petrolio: i biocombustibili. — 6. Biocombustibili e biologia sintetica.

1. *La creazione non è finita.*

Nel novembre del 2011 alcuni ricercatori della Johns Hopkins University di Baltimora, sotto la guida del biologo Jef Boeke, hanno comunicato alla rivista *Nature* di aver inserito con successo in un lievito due segmenti di cromosoma, a cui hanno aggiunto un sistema per rimescolare i geni in modo da riprodurre i casuali processi che determinano l'evoluzione, con l'obiettivo di creare un'entità vitale da utilizzare per la preparazione di vaccini (1). Era passato poco più di un anno da quando, il 20 maggio del 2010, lo scienziato statunitense Craig Venter aveva diffuso l'annuncio che la società da lui costituita, *Synthetic Genomic*, aveva creato una nuova forma di vita, un organismo in grado di riprodursi, inserito all'interno della cellula di un batterio di specie diversa (2).

L'annuncio di Venter aveva suscitato reazioni assai diverse: di entusiasmo, di stupore, ma anche di preoccupazione e di costernazione (3).

(1) R. VILLA, *La biologia sintetica per creare vaccini universali*, in *Corriere della Sera* 20 novembre 2011.

(2) C. VENTER è noto per aver realizzato con fondi privati e con la società *Celera Genomics*, in parallelo al Progetto genoma umano, finanziato con fondi pubblici a livello internazionale, il sequenziamento del genoma di *Homo sapiens*, istituendo una banca dati genomica utilizzabile a pagamento.

(3) Si veda tra i molti *Creata cellula che si riproduce. Più vicina la vita artificiale*, in *La Repubblica* 20 maggio 2010.

In realtà si tratta di una notizia da molti prevista. All'inizio degli anni Settanta Stanley N. Cohen dell'Università di Stanford e Herbert Boyer dell'Università di San Francisco hanno per la prima volta inserito stabilmente nel DNA di un batterio un frammento di DNA estratto da un altro organismo, dimostrando così che DNA proveniente da diversi organismi viventi poteva essere combinato in modo da creare nuove entità, diverse da quelle presenti in natura. Era l'atto di nascita della biotecnologia (4). Oggi in centinaia di laboratori e centri di ricerca nel mondo essa consente di inserire e di cambiare i geni presenti in organismi viventi e quindi di modificare tratti del loro codice genetico al fine di ottenere risultati o prestazioni desiderate. Nonostante le preoccupazioni e i dubbi di carattere economico, sociale e etico inizialmente sollevati, innumerevoli sono attualmente i prodotti biotecnologici commercializzati nel settore medico e farmaceutico e nell'agricoltura: basti pensare che nel 2006, ad un quarto di secolo di distanza dall'immissione dei primi prodotti GMO, erano coltivati con prodotti biotech oltre 100 milioni di ettari su scala globale (ed anche in sette Paesi europei) e oltre 10 milioni di agricoltori ne facevano uso (5).

Non poteva tardare assai il passo successivo, e cioè il passaggio tra l'inserimento di un gene all'interno del genoma di un'altra cellula e la modifica di intere cellule con componenti artificialmente prodotti. Questa nuova fase è generalmente nota come biologia sintetica.

In questo scritto descrivo il sorgere e l'affermarsi di questa nuova disciplina e le sue possibili applicazioni nel settore ambientale, e specificatamente nel settore della produzione di un combustibile sostitutivo del petrolio e dei combustibili fossili. In uno scritto successivo mi soffermerò sui problemi di carattere etico che la biologia sintetica pone.

2. *Che cos'è la biologia sintetica?*

Il termine biologia sintetica compare per la prima volta molti anni fa, come titolo di un articolo apparso sulla rivista *Nature* nel 1913. Ricompare nella letteratura scientifica nel 1974, dopo un intervallo di settant'anni, utilizzato come sinonimo di ingegneria genetica,

(4) Si veda Andrew W. TORRANCE, *Synthesizing Law for Synthetic Biology*, in *Minnesota Journal of Law, Science and Technology*, p. 634, 2010.

(5) Si veda per molti altri dati A.W. TORRANCE, *Genetically Modified Organisms: Philosophy, Science, and Policy: Intellectual Property as the Third Dimension of Gmo Regulation*, in *Kansas Journal of Law & Public Policy*, 16, 2007, p. 257.

ad opera del genetista polacco Waclaw Szybalski. Ecco le sue profetiche parole: « *Ora stiamo lavorando in una fase prevalentemente descrittiva della biologia molecolare... La vera sfida inizierà quando cominceremo a sviluppare la biologia sintetica... Potremmo allora aggiungere nuovi moduli a genomi già esistenti, o realizzare genomi interamente nuovi. Sarà un settore con possibilità virtualmente illimitate di espansione...* ».

Szybalsky aveva già compreso che la biologia sintetica avrebbe offerto la possibilità di rifare la vita a partire da geni creati dall'uomo (6); del resto, un secolo esatto fa questo era il fine della biologia individuato da Jacques Loeb (per inciso, è un obiettivo che Venter, nonostante il suo proclama, non ha raggiunto, essendosi limitato a « riempire » una cellula con materiale genetico tratto da un'altra cellula, quindi non artificialmente realizzato).

Ancora nel 2007, in un inserto dedicato alle nuove scienze del 2007, il quotidiano statunitense *The Boston Globe* affermava che la biologia sintetica era una scienza nuova; così nuova che neppure l'Università di Harvard offriva un corso ad essa dedicato (il vuoto è stato presto riempito: un corso di biologia sintetica è stato inaugurato poco dopo, nell'autunno del 2008).

Come spesso accade allorché si tratta di nuove discipline (7), i confini restano non ben definiti.

Ha osservato la biologa e giornalista scientifica Anna Meldolesi: « *Se chiedete a cinque scienziati di definire la biologia sintetica avrete sei risposte diverse. Nella sua accezione più moderata rappresenta l'ingresso dell'ingegneria genetica nella piena maturità, essendo ora possibile intervenire su intere reti geniche anziché su singoli geni in modo sempre più preciso e prevedibile. Per i più estremisti indica la possibilità di creare forme vitali con pochi materiali di partenza* ».

In effetti, la biologia sintetica comprende — secondo una delle definizioni più diffuse — le tecniche, proprie dell'ingegneria genetica, di aggiungere o sottrarre singoli geni a un organismo, ma anche interventi rivolti a modificare i processi di formazione delle cellule in modo da ottenere organismi nuovi, secondo progetti predeterminati. È quindi una disciplina che combina aspetti di ricerca scientifica

(6) Così SAPNA KUMAR-ARTI RAI, *Synthetic Biology: The Intellectual Property Puzzle*, in *Texas Law Review*, 85, 2007, p. 1745.

(7) La nascita della biologia sintetica è comunemente fatta risalire a due contributi pubblicati sulla rivista *Nature* del 20 gennaio 2000. Uno di questi (gli Autori erano T.S. GARDNER, C.R. CANTOR e J.J. COLLINS) descriveva un *toggle switch*, dimostrando che era in grado di modellare, progettare e costruire insiemi di geni sintetici partendo dalle componenti biomolecolari. P. BALL, *Starting from Scratch*, in *Nature* 431, 2004, p. 624 e W. WATT GIBBS, *Synthetic Life*, in *Scientific American*, maggio 2004, p. 75.

propri della biologia con aspetti pratici tipici dell'ingegneria genetica. Non solo. Confluiscono nella biologia sintetica anche l'insieme delle tecniche che permettono di creare — cioè produrre artificialmente — singoli geni all'interno di una determinata sequenza di DNA, in modo da realizzare artificialmente organismi predisposti per ottenere prestazioni desiderate. E confluiscono nella biologia sintetica anche conoscenze derivate dalle nanoscienze e dalle nanotecnologie, come ricorda David Rejeski, il direttore dello *Science and Technology Innovation Program* e del *Synthetic Biology Program* presso il *Woodrow Wilson International Center* a Washington, DC. (8).

Tutte queste discipline — ingegneria genetica e biotecnologie, nanoscienze e nanotecnologie e, infine, biologia sintetica — sono spesso qualificate come « *emerging technologies* » (9).

Si tratta di una qualifica che non è esatta se con essa si fa riferimento al fatto che esse siano in una fase iniziale di sviluppo. Tanto le biotecnologie quanto le nanoscienze sono ormai infatti da tempo presenti sul mercato. Per ciò che riguarda le biotecnologie, si è già detto sopra. I prodotti ottenuti con nanotecnologie sono invece presenti nel commercio e nell'ambiente dalla metà degli anni Novanta del secolo scorso e la ricerca e i finanziamenti pubblici e privati al settore sono in continuo aumento (10).

La qualifica di tecnologie emergenti può essere invece condivisa

(8) Le nanoscienze sono a loro volta il punto di incontro di discipline diverse: la fisica quantistica, la chimica supramolecolare, la scienza dei materiali, la biologia molecolare. Le nanotecnologie, un settore in rapida e continua evoluzione, sfruttano le conoscenze derivanti dalle nanoscienze e sono un insieme di tecniche volte alla creazione e all'utilizzazione di materiali, dispositivi e sistemi con dimensioni a livello nanometrico e quindi su scala atomica e molecolare. Il termine nanotecnologie è stato coniato nel 1974 da Norio Taniguchi dell'Università di Tokyo. Un nanometro è un milionesimo di metro. In queste dimensioni, la materia possiede proprietà particolari di carattere fisico, ottico, meccanico, magnetico. Si veda L. BUTTI-L. DE BIASE, *Nanotecnologie, ambiente e percezione del rischio*, in *Quaderni della Rivista giuridica dell'ambiente*, 2005, 16.

(9) Per la biologia sintetica vedi *Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, New Directions: The Ethics Of Synthetic Biology and Emerging Technologies*, 2010, p. 142; per le nanotecnologie David A. STRIFLING, *Environmental Federalism and Effective Regulation of Nanotechnology*, in *Michigan State Law Review*, 2010, p. 1129.

(10) Negli Stati Uniti è stato approvato nel 2003 il *Twenty-First Century Nanotechnology Research and Development Act* (« *Nano R&D Act* ») che ha dedicato un finanziamento pubblico di 3,6 miliardi di dollari al settore delle nanotecnologie. La *National Science Foundation* prevede che il mercato dei prodotti ottenuti con questa tecnologia raggiungerà \$ 1 trillion entro il 2015 creando oltre due milioni di posti di lavoro: si veda Kim C. LOBRING, *Nanoscale Materials: Can (and Should) We Regulate the Next Industrial Revolution?*, in *University of Illinois Journal of Law, Technology and Policy*, 2006, p. 313.

se con essa si fa riferimento al fatto che queste discipline non hanno ancora espresso tutte le loro potenzialità: la capacità di controllare e modificare la materia a livello delle sue componenti strutturali di base, atomi e molecole comporterà un cambiamento in tutto ciò che viene oggi manifatturato, dall'elettronica ai prodotti farmaceutici, dai combustibili al cibo. Con la biologia sintetica, in particolare, si verificheranno profondi cambiamenti nella medicina, nelle attività cognitive e nel rapporto dell'uomo con l'ambiente e nell'uso delle risorse naturali (11).

Il rapporto predisposto nel 2006 dal gruppo di lavoro costituito all'interno del programma dedicato alle scienze e alle tecnologie emergenti (NEST) dall'Unione Europea indica tra le potenziali applicazioni di questa nuova disciplina tutti i settori della biomedicina e della biofarmaceutica, prodotti chimici ambientalmente sostenibili, produzione di energia e sistemi di bonifica ambientale, produzione di biomateriali sostitutivi di materiali naturali tossici o inquinanti o in via di esaurimento, ed inoltre prodotti per la sicurezza (controterrorismo) (12). È stato stimato che globalmente gli investimenti nella ricerca in questa disciplina ammonteranno a oltre tre miliardi di dollari nei prossimi sette anni (13).

(11) Sono settori per i quali, a partire dagli anni Novanta, via via che progrediva il sapere scientifico, gli scritti dei futurologi si sono intensificati, con varie connotazioni. Si vedano, per esempio: in generale M. KAKU, *Visions: How Science will Revolutionize the 21st Century*, New York: Anchor Books/Doubleday, 1997; nella medicina M. FOSSEL, *Reversing Human Aging*, New York: William Morrow and Company, 1996; W. B. SCHWARTZ, *Life without Disease: The Pursuit of Medical Utopia* (Berkeley, Los Angeles & London: University of California Press, 1998; nel settore della genetica: L.M. SILVER, *Remaking Eden: Cloning and Beyond in a Brave New World*, New York: Avon Books, 1997.

(12) Report of a NEST High-Level Expert Group, *Synthetic Biology. Applying Engineering to Biology*, consultabile in http://ftp.cordis.europa.eu/pub/nest/docs/syntheticbiology_b5_eur21796_en.pdf. Sulla base di questo rapporto l'Unione Europea ha promosso il finanziamento di numerosi progetti di ricerca nel settore.

(13) Alcuni dati. Nel Regno Unito è stata proposta la costituzione di un network da finanziare con 900.000 sterline in cui inserire nuovi istituti universitari dedicati alla biologia sintetica. Negli Stati Uniti hanno avviato programmi di finanziamento delle ricerche nella disciplina numerose agenzie federali tra cui il *Defence Advanced Research Projects Agency* (DARPA) e i Dipartimenti della difesa (DoD) e dell'energia (DoE). Questi ultimi hanno concesso un finanziamento di 3 milioni di dollari a Craig Venter per lo sviluppo dei suoi progetti di energia alternativa. Forti investimenti sono stati anche concessi da fondazioni o imprenditori privati. Per esempio Microsoft ha concesso nel 2006 un contributo di \$ 570,000 a sei progetti di ricerca. La Fondazione Bill and Melinda Gates ha stabilito di versare \$ 42.6m durante cinque anni a partire dal 2004 all'Institute for OneWorld Health, UC Berkeley and Amyris Biotechnologies per lo

3. *I primi passi.*

La fase iniziale è la realizzazione di semplici strutture di base artificiali formate da frammenti di DNA: una cellula minimale, ma vitale. Il principio che sta alla base è che le componenti che producono la vita sono programmabili.

Due sono le metodologie che sono state seguite.

La prima è il c.d. *modello Chassis*, utilizzata da Craig Venter. Il genoma di un organismo esistente viene ridotto agli elementi minimi strettamente sufficienti per mantenerne la vitalità. Questa struttura di base è utilizzata come una carrozzeria di un'auto: su di essa si possono effettuare le addizioni che si desiderano per costruire un nuovo organismo, inserendo tratti sintetici di genoma che permettono di svolgere le nuove funzioni desiderate (14).

La seconda metodologia prevede la costruzione di strutture costituite da cellule e sequenze genetiche *standard*, con le quali comporre nuovi organismi che svolgano le funzioni desiderate: queste strutture, per la somiglianza con gli elementi base del Lego e con i mattoni usati per l'edilizia, sono state denominate *Biobricks*. In sostanza, lo scienziato ha a disposizione un magazzino cui può liberamente accedere con le parti di ricambio dell'organismo che vuole realizzare, senza essere costretto a produrle e senza neppure dover sapere come funzionano (così come chi realizza un computer utilizza componenti *standard* dei quali non deve necessariamente conoscere il funzionamento). Nel corso di questo secolo i *Biobricks* diventeranno, secondo i loro ideatori, ciò che le viti e i bulloni sono stati nel XIX secolo o i *transistor* nel XX secolo.

I *Biobricks* finora costruiti e disponibili, attualmente alcune migliaia, sono custoditi da un'apposita fondazione non-profit, *Biobrick Foundation*, istituita da un gruppo di biologi del MIT, di Harvard e dell'Università di California (15). Dal 2003 è operativo un catalogo ufficiale, il *Registry of Standard Biological Parts* che elenca le proprietà e la composizione dei *Biobricks*.

Dal 2004 si svolge anche una competizione annuale denominata *International Genetically Engineered Machine* (iGEM) durante la quale

sviluppo di un farmaco antimalarico. Un'altra società di ricerca nel settore, Amyris, ha ottenuto 70 milioni di dollari da privati per sviluppare ricerche nel settore dei biocombustibili.

(14) Si veda la descrizione del *team* che opera con Craig Venter: *James Hutchinson III e altri, The New Biological Synthesis*, in *The Scientist*, 1 gennaio 2006, p. 38, consultabile in <http://classic.the-scientist.com/2006/1/1/38/1/>.

(15) The Biobricks Foundation, <http://bbf.openwetware.org/>.

vengono posti a confronto i migliori progetti di biologia sintetica realizzati utilizzando esclusivamente *Biobricks* registrati (16).

Ma facciamo un passo indietro e torniamo al 2003.

In quello stesso anno viene costituito presso i *Lawrence Berkeley Laboratories* dell'Università di California - Berkeley il primo dipartimento dedicato alla biologia sintetica. Qui un gruppo di scienziati diretti da uno dei più noti esperti di biologia sintetica, Jay Keasling, crea un batterio che produce artificialmente un farmaco antimalarico (17). Il farmaco può essere prodotto in modo naturale, utilizzando un vegetale di origine cinese, l'artemisina (*artemisia annua*), le cui proprietà antimalariche sono note sin dai primi anni Settanta del secolo scorso; ma è un'erba difficile da coltivare e ancor più difficile da trattare per l'utilizzo, dopo il raccolto, sicché le quantità prodotte sono limitate e conseguentemente il farmaco risulta costoso e non utilizzabile in tutti i Paesi ove la malaria miete vittime (sono oltre 5 milioni all'anno le persone colpite da malaria, per lo più nei Paesi poveri).

Nel 2012 il farmaco artificiale potrebbe essere immesso sul mercato a costi irrisori rispetto a quelli dello stesso farmaco prodotto naturalmente, per effetto della collaborazione di vari istituti di ricerca e di varie organizzazioni non-profit (tra cui, come si è visto, la *Bill & Melinda Gates Foundation*).

La ricerca rivolta alla creazione dell'artemisina artificiale costituisce la prima dimostrazione pratica dell'importanza della biologia sintetica.

Così nel 2005 Drew Endy, uno dei precursori della biologia sintetica insieme a Jay Kiesling, osservava che « *questa disciplina scientifica è in grado di produrre energia e cibo, a realizzare materiali, a contribuire al miglioramento della salute umana e dell'ambiente, pur essendo ancora limitata la capacità di creare sistemi biologici artificiali per ottenere risultati predeterminati* » (18).

(16) Nel 2010 si è svolta la settima competizione iGEM: hanno partecipato oltre 2000 scienziati suddivisi in 200 squadre provenienti da alcune decine di Paesi (tra cui l'Italia). Il Gran Premio è stato vinto dalla squadra dell'Università di Cambridge (UK) che ha creato un batterio (denominato *e-chromi*) che permette, mutando di colore, di individuare specifici elementi che producono inquinamento dell'ambiente, indicandone anche, con la variazione di colore, la concentrazione.

(17) V. HALE e altri, *Microbially Derived Artemisinin: A Biotechnology Solution to the Global Problem of Access to Affordable Antimalarial Drugs*, in *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 77, 2007, pp. 198 ss.

(18) D. ENDY, *Foundations for Engineering Biology*, in *Nature*, 2005, p. 438. Si veda in proposito A. POLLACK, *Custom-Made Microbes, at Your Service*, in *New York Times* 7 gennaio 2006 in <http://www.nytimes.com/2006/01/17/science/17synt.html?pagewanted=1&adxmlx=1328785273-iTRpqydGrO7 k92rTHXoBw>.

Due anni dopo, nel giugno del 2007, si è svolto a Ilulissat, in Groenlandia, il *Kavli Futures Symposium* sull'argomento « *The merging of bio and nano: towards cyborg cells* » dove è stata sottoscritta da 17 tra i più illustri scienziati del settore (19) la c.d. dichiarazione di Ilulissat: « *Synthesizing the Future a vision for the convergence of synthetic biology and nanotechnology* ».

Nella dichiarazione si afferma che la biologia sintetica è prossima a rivoluzionare il modo con cui saranno affrontati molti problemi, dall'energia, allo sviluppo sostenibile alla lotta per debellare la malaria.

Gli scienziati che sottoscrivono la dichiarazione fanno quindi appello alla comunità internazionale e alle varie organizzazioni sovranazionali interessate perché siano compiuti i necessari sforzi per far progredire questa disciplina, nello stesso tempo ponendo in essere misure volte a prevenire abusi o incidenti: « *Questi primi anni del secolo offrono enormi promesse e terribili pericoli. Dobbiamo affrontare immense sfide nei settori del cambiamento climatico, dell'energia, della salute e delle risorse idriche. La biologia sintetica può offrire delle soluzioni a tutte queste sfide... Tuttavia, come accade per ogni tecnologia, queste possibilità non sono senza rischi. Dobbiamo stabilire delle regole precauzionali e fissare un sistema di protocolli che impediscano usi scorretti o pericolosi. I rischi sono reali, ma i benefici potenziali sono veramente straordinari* ».

Nel 2010 ha luogo a Roma il primo convegno nazionale di studi sulla biologia sintetica, organizzato dal Centro di studi biogiuridici ECSEL che si conclude con un appello rivolto al Governo italiano per favorire lo sviluppo, nell'ambito della società civile, di un dibattito pubblico trasparente ed interculturale sul tema della biologia sintetica e sui cambiamenti che essa potrebbe indurre nel modo di concepire la vita ed i comportamenti quotidiani e, nello stesso tempo, per incrementare le risorse finanziarie pubbliche e private a sostegno

(19) Questi sono gli scienziati che hanno sottoscritto la dichiarazione: per la Francia, David Bensimon, Ecole Normale Supérieure, per la Germania Joe Howard, Max Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics e Petra Schwille dell'Università di Dresda, per Israele Ehud Shapiro, Weizman Institute of Science, per il Giappone Hiroaki Kitano, Systems Biology Institute, and Sony Computer Science Laboratories, per l'Olanda Cees Dekker, Delft University of Technology, per gli Stati Uniti Robert Austin, Princeton University, Angela Belcher, Massachusetts Institute of Technology, Steven Chu, Lawrence Berkeley National Laboratory; Freeman Dyson, Institute for Advanced Study; Drew Endy, Massachusetts Institute of Technology; Scott Fraser, California Institute of Technology; John Glass, J. Craig Venter Institute; Robert Hazen, Carnegie Institution of Washington; Jay Keasling, University of California at Berkeley; Paul McEuen, Cornell University; Julie Theriot, Stanford University. Vale la pena di evidenziare l'assenza di qualsiasi scienziato italiano.

della ricerca fondamentale nei settori interessati dalla biologia sintetica (20).

Come osserva la Commissione presidenziale degli Stati Uniti per lo studio dei problemi bioetici, il XXI secolo sarà il secolo della biologia e la biologia sintetica costituirà l'asse portante dello sviluppo di questa disciplina (21).

Nell'Unione Europea si è tempestivamente compresa l'importanza di essere presenti nello sviluppo di questa disciplina: nel 6° programma per la ricerca e lo sviluppo tecnologico (FP6) sono stati investiti non meno di 25 milioni di euro per progetti nella biologia sintetica (compresi molti progetti dedicati a studiarne le implicazioni etiche, giuridiche e economiche). In effetti, almeno fino al 2007, prima che il Dipartimento federale dell'energia degli Stati Uniti destinasse oltre 100 milioni di dollari alla ricerca in questo settore, i finanziamenti pubblici per la biologia sintetica erano superiori in Europa, tenuto anche conto dei programmi di finanziamento di molti Paesi, e specificatamente di Regno Unito, Francia, Germania e Svizzera.

4. *Biologia sintetica e ambiente.*

Un importante settore di sviluppo della biologia sintetica nel settore della tutela dell'ambiente è costituito dal risanamento e dalla bonifica di siti contaminati utilizzando organismi biosintetizzati appositamente per questo scopo. Alcuni batteri, come il *Rhodococcus* e lo *Pseudomonas* sono già da tempo utilizzati in quanto naturalmente consumano e degradano idrocarburi e molti componenti del petrolio. Ma sono allo studio già da molti anni organismi geneticamente modificati o artificialmente prodotti per dissolvere o degradare sostanze più tossiche, come le diossine, i pesticidi, il fosforo, metalli pesanti e vari composti radioattivi. Gli enormi vantaggi di interventi di questo tipo rispetto a quelli tradizionali di smaltimento e stoccaggio sono evidenti, sia con riferimento al risparmio economico e alla riduzione del degrado territoriale sia, più in generale, con riferimento alla diminuzione dei rischi per la salute e per la sicurezza delle

(20) Notizie sul Convegno in <http://www.panoramasanita.it/ita/thenews.asp?id=3222>; http://salute.aduc.it/notizia/biologia+sintetica+appello+ecsel+al+governo_117299.php.

(21) PRESIDENTIAL COMMISSION FOR THE STUDY OF BIOETHICAL ISSUES, *New Directions: The Ethics Of Synthetic Biology And Of The Emerging Technologies*, Washington dicembre 2010.

collettività che risiedono in prossimità dei siti di stoccaggio. Tuttavia Gary Saylor del Centro di biotecnologia ambientale dell'Università del Tennessee ha osservato che negli Stati Uniti ci vorrà molto tempo perché organismi prodotti con tecniche di biologia sintetica possano uscire dai laboratori: c'è una forte opposizione da parte delle associazioni ambientaliste che temono i pericoli della dispersione nell'ambiente di questi organismi e, negli Stati Uniti, l'*Environmental Protection Agency* ha in corso verifiche sui rischi assai approfondite, che richiederanno molto tempo per essere completate (22). Ad un livello più avanzato sull'applicazione della biologia sintetica per la decontaminazione di siti inquinati sembra essere attualmente la Cina dove vari centri specializzati si occupano dei vari temi: della trasformazione di sostanze tossiche in sostanze innocue per effetto dell'attività di organismi sinteticamente progettati si occupa da tempo lo *State Key Laboratory of Microbial Technology* presso la Shandong University, mentre lo *State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents* ha concentrato le sue ricerche sulla eliminazione dei pesticidi dall'ambiente. Altri centri di ricerca stanno sviluppando organismi da utilizzare come biosensori sul territorio in modo da controllare il livello di inquinamento (23).

Di particolare interesse ambientale sono inoltre le attività rivolte alla produzione di sostanze artificiali, sostitutive di quelle ottenute attualmente da risorse naturali non rinnovabili: prima fra tutte, il petrolio non solo come combustibile, ma anche come sostanza per la realizzazione di innumerevoli prodotti divenuti di uso comune e indispensabili nella vita quotidiana.

Si pensi alla plastica e ai problemi che essa pone per il suo smaltimento (senza dimenticare l'inquinamento marino: tra la costa della California e le Isole Hawaii si è formata per effetto delle correnti oceaniche una enorme isola di rifiuti di plastica nota come la *Eastern Garbage Patch*).

Un'alternativa a molti prodotti non biodegradabili ottenuti con derivati del petrolio è costituita da prodotti analoghi ottenibili dall'acido polilattico (PLA). Il PLA, realizzato per la prima volta nel 1932, è stato sinora ottenuto con un laborioso processo chimico necessario per « stabilizzare » la fermentazione della canna da zucchero o da altri vegetali. Solo recentemente sono state sviluppate tecnologie che

(22) C.W. SCHMIDT, *Synthetic Biology: Environmental Health Implications of a New Field*, in *Environmental Health Perspectives*, marzo 2010, p. 118.

(23) L. PEI-M. SCHMIDT-W. WEI, *Synthetic biology: An emerging research field in China*, in *Biotechnology Advances*. 2011 November; 29(6-3): pp. 804-814.

hanno reso conveniente la produzione di prodotti a base di PLA, totalmente biodegradabili, su vasta scala (24).

Tuttavia i costi potrebbero essere ulteriormente ridotti, eliminando la necessità dell'intero processo chimico, utilizzando un batterio creato artificialmente da un gruppo di ricercatori dello *Advanced Institute of Science and Technology* coreano. I vantaggi ambientali della diffusione di questi prodotti, che, nonostante la biodegradabilità, sono rimasti sinora in secondo piano, sono evidenti (25).

Anche la gomma sintetica, ottenuta attualmente da derivati del petrolio, altamente inquinante e di difficile smaltimento, ma diffusamente utilizzata per la scarsità della gomma naturale, potrebbe essere sostituita da un nuovo vegetale ottenuto trasformando geneticamente una varietà di tarassaco (noto anche come dente di leone) diffuso in Russia (*Taraxacum kok-saghyz* - TKS).

In entrambi i casi, potrebbero essere reintrodotti sul mercato prodotti vegetali che erano stati accantonati, poco più di cento anni orsono, dall'affermarsi del petrolio: paradossalmente, le nuove tecnologie di biologia sintetica potrebbero segnare un ritorno al passato.

L'obiettivo più importante è però, naturalmente, ottenere un combustibile sostitutivo del petrolio.

5. Oltre il petrolio: i biocombustibili.

La sostituzione del petrolio con altre sostanze realizzate artificialmente e rinnovabili avrebbe innumerevoli ed evidenti vantaggi.

L'era del petrolio è destinata a concludersi (26). Non è quindi così

(24) Negli ultimi decenni l'impiego di fibre è cresciuto di dieci volte, ma è passato da fibre quasi esclusivamente biodegradabili a fibre quasi esclusivamente non biodegradabili, nonostante che fra i consumatori l'aspetto ecologico sia diventato sempre più importante. Per esempio, nel mercato dei pannolini usa e getta i prodotti biodegradabili sono inesistenti.

(25) *Your plastic pal. A genetically engineered bacterium makes a greener plastic*, in *Economist* 26 novembre 2009.

(26) Secondo un Rapporto dell'Agenzia internazionale per l'energia (IEA) dell'ottobre del 2010, il culmine della produzione di petrolio si è verificato nel 2006 con 70 milioni di barili al giorno e si ridurrà a 69 milioni verso il 2015 e a 30 milioni di barili al giorno nel 2030. La produzione di petrolio è diminuita negli ultimi tre anni del 6,7% all'anno: sarebbe quindi necessario individuare nuovi giacimenti che producano almeno 5 milioni di barili all'anno per compensare la diminuzione. Si può trovare, ma a costi nettamente superiori agli attuali. Lo stesso Rapporto prevede che già nel 2025, in mancanza di fonti di energia sostitutive, il costo del petrolio salirà oltre i 200 dollari al barile. Nel 2035 il fabbisogno di petrolio sarà di 110 milioni di barili al giorno, 80 milioni di barili oltre l'offerta disponibile. La differenza tra domanda e offerta, se si vuole soddisfare il fabbisogno di energia, dovrà essere colmata con energie rinnovabili,

lontano nel tempo un futuro con approvvigionamenti sempre più scarsi, con risorse sempre più concentrate in pochi Paesi che gli Stati ricchi o maggiormente sviluppati considerano inaffidabili, con costi sempre più cari e con conflittualità sempre più inevitabili (27). Le guerre condotte per il controllo del petrolio iracheno sono state un primo tragico segnale.

Con la sostituzione del petrolio verrebbero inoltre evitati l'intensivo degrado ambientale e i dissesti economici, politici e sociali provocati dall'estrazione del petrolio che per molti Stati produttori — si pensi alla Nigeria o all'Iraq — si è metodicamente trasformato da una fortuna in una maledizione: « *the oil curse* », come è comunemente denominato.

Se non è prossima la fine dell'era del petrolio, è però prossima la fine dell'era del petrolio a basso prezzo. È quindi ben comprensibile che sull'obiettivo di creare un prodotto idoneo a sostituire il petrolio si concentrino gli sforzi di numerosi istituti di ricerca pubblici e privati. La biologia sintetica offre la possibilità di realizzare combustibili che attenuano i pesanti limiti dei biocarburanti attuali.

Oggi i biocarburanti più diffusi sul mercato sono estratti dalla lavorazione delle materie prime agricole, dalle biomasse e dal legno e sono utilizzati per alimentare motori, automobili e macchinari (in effetti, il primo motore diesel, inventato da Rudolf Diesel alla fine del XIX secolo, funzionava con un biocarburante a base di olio di arachidi: la diffusione dei carburanti derivati dal petrolio era ancora agli inizi). Seppur sperimentati e utilizzati a varie riprese e con vario successo nel secolo scorso, solo a partire dagli anni Novanta i biocombustibili si affermano sulla scena mondiale della produzione di energia. I due biocarburanti più diffusi, il biodiesel e l'etanolo, hanno infatti il vantaggio di non creare dipendenza energetica da Paesi politicamente poco affidabili, come la maggior parte di quelli che detengono le riserve petrolifere. Essi possono anche divenire economicamente vantaggiosi (superando così l'ostacolo che in passato ne aveva sempre sfavorito l'uso): molti prevedono che nei prossimi anni il perfezionamento delle tecnologie di produzione renderà i biocarburanti competitivi anche se il prezzo del petrolio dovesse scendere a 25 dollari al barile.

Tuttavia, come spesso accade, le soluzioni che sembrano a prima

gas naturale e petrolio tratto da fonti non convenzionali, a costi assai superiori a quelli attuali.

(27) La letteratura sul punto è abbondante. Per tutti, si veda L. MAUGERI, *L'era del petrolio*, Feltrinelli 2006.

vista più favorevoli hanno dei lati oscuri dal punto di vista dell'ambiente. Non tutto ciò che si ottiene dai vegetali è verde.

Infatti, i vantaggi per il ridotto impatto sul clima che avrebbero dovuto costituire uno dei principali incentivi per la diffusione dei biocarburanti risultano, alla luce di studi e verifiche compiute negli ultimi anni, assai ridotti, se non addirittura inesistenti.

È vero che i biocarburanti producono emissioni di gas serra assai inferiori a quelle dei combustibili fossili allorché sono utilizzati; ma, se si prendono in considerazione anche tutte le fasi precedenti, a partire dalla predisposizione delle aree per la coltivazione delle piante da convertire in carburante (l'attività agricola, comprensiva dell'impiego di acqua, di irrigazione, di fertilizzanti chimici, di pesticidi, di macchinari, e poi quella industriale di trasformazione delle piante in combustibile) i danni al clima e all'ambiente sono comparabili con quelli del petrolio, se non addirittura superiori. La ricerca più nota in proposito è stata condotta nel 2005 da due noti esperti del settore agroalimentare, David Pimentel e Tad W. Patzek. I due Autori hanno analizzato in ogni dettaglio il rapporto fra energia in ingresso e in uscita nella produzione di etanolo da mais, legno ed erba, e nella produzione di biodiesel dalla soia e dalle piante di girasole e hanno concluso che la trasformazione di piante in carburante richiede molta più energia di quella generata dal biocarburante. Per la produzione di etanolo, l'utilizzo di mais richiede il 29% di energia fossile in più rispetto al carburante prodotto, l'erba richiede il 45% in più, e la biomassa di legno addirittura il 57% in più. Per la produzione di biodiesel, le piante di soia richiedono il 27% di energia in più di quella fornita dal carburante, e i girasoli addirittura il 118% in più (28).

Un ulteriore importante aspetto che conferma queste conclusioni è l'enorme consumo d'acqua richiesto per la coltivazione di vegetali da trasformare in biocarburanti: sono necessari circa 9.100 litri d'acqua per far crescere la soia necessaria a ottenere un litro di biodiesel, e 4.000 litri d'acqua per la quantità di mais necessaria a ottenere un litro di etanolo: nell'agosto del 2008, lo *Stockholm International Water Institute* (29) ha diffuso il risultato di uno studio in base al quale la produzione di biocarburanti richiederà nel 2050 lo stesso ammontare di acqua oggi utilizzato dall'intera agricoltura mondiale.

(28) D. PIMENTEL-T.W. PATZEK, *Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower*, in *Natural Resources Research*, pp. 65 ss. Kluwer Academic Publishers, 2005; si veda anche L.J. PATZEK-T.W. PATZEK, *The Disastrous Local and Global Impacts of Tropical Biofuel Production*, in *Energy Tribune*, pp. 19-22, Marzo 2007 ove si afferma che «... the continuing push into the tropics by... biofuel producers will only accelerate a potential ecological catastrophe ».

(29) In <http://www.siwi.org/>.

Così i biocarburanti, mentre non attenuano l'emergenza ambientale del cambiamento climatico, contribuiscono all'intensificarsi di un'altra emergenza, non meno grave, costituita dal ridursi delle risorse idriche disponibili.

C'è infine un altro aspetto da considerare, il principale secondo molti, costituito dai profili di carattere etico dell'utilizzo di aree destinate alla produzione alimentare prima, e di prodotti agricoli per produrre non cibo ma carburanti poi. La sottrazione di aree agricole all'uso alimentare cui sono destinate per adibirle alla produzione di combustibile appare eticamente dubbia in una situazione mondiale in cui la fame e la sottonutrizione restano il problema prioritario da risolvere.

Proprio in considerazione di questi aspetti e di questi problemi, i biocombustibili di seconda generazione sono prodotti utilizzando sostanze la cui coltivazione non richiede un eccessivo consumo d'acqua o può essere dislocata in zone non adatte all'agricoltura tradizionale, come alghe o piante infestanti.

6. *Biocombustibili e biologia sintetica.*

È in questa seconda fase di sviluppo che si innesta la ricerca della BS.

L'obiettivo è la realizzazione di cellule artificiali che producano sostanze che poi, immesse nelle alghe con opportuni trattamenti chimici o biologici, siano convertibili in combustibile riducendo anche l'impatto sul clima.

Così, molte imprese del settore agroalimentare e agrogenetico e molti Governi stanno investendo in programmi volti a sviluppare organismi da utilizzare per produrre biocombustibili. Il Dipartimento dell'energia del Governo federale ha incaricato Jay Keasling, la scienziata cui già abbiamo accennato, di guidare un ente appositamente costituito, il *Joint BioEnergy Institute*, dotato di fondi per oltre 100 milioni di dollari al fine di studiare la possibilità di creare un biocombustibile che non produca danni ambientali (30).

Molti progetti sono attualmente in fase di studio.

(30) Il *Joint BioEnergy Institute (JBEI)* è un consorzio scientifico guidato dal *Lawrence Berkeley National Laboratory*; ne fanno parte *Sandia National Laboratories*, l'Università di California di Berkeley e di Davis, la *Carnegie Institution for Science*, e il *Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)*. Il compito del Consorzio è lo sviluppo di biocombustibili.

Una società californiana fondata nel 2005 — LS9 (31) — specializzata nella realizzazione di organismi artificiali — brevettati con il marchio *Designer Microbes*, ha realizzato una particolare specie di batteri che producono un idrocarburo del tutto simile al petrolio (anch'esso oggetto di brevetto con il marchio *Renewable Petroleum*), con un potere energetico superiore ai biocombustibili attualmente in commercio.

Il combustibile realizzato in questo modo sarebbe una fonte di energia rinnovabile sostitutiva del petrolio, pienamente utilizzabile dai mezzi di trasporto. Sarebbe quindi eliminato o comunque fortemente ridotto il problema dell'esaurimento di questo combustibile fossile e tutti i problemi di carattere geopolitico e strategico connessi.

L'aspetto negativo tuttavia è che il nuovo combustibile sintetico non avrebbe effetti positivi sul cambiamento climatico, in quanto proprio la somiglianza del prodotto artificiale con il prodotto fossile porterebbe a realizzare emissioni di impatto equivalente sul clima.

Positivi effetti sul cambiamento climatico avrebbe invece l'organismo sintetico su cui sta lavorando *Synthetic Genomics*, utilizzando il metodo *Chassis* cui abbiamo accennato. Il progetto prevede di utilizzare la carrozzeria per la costruzione di un batterio artificiale che, inserito in alghe, assorba mediante la fotosintesi l'anidride carbonica dall'atmosfera, riducendo in questo modo la presenza delle emissioni produttive di cambiamento climatico e la trasformi in idrogeno o metano. In questo modo, il biocombustibile verrebbe ottenuto utilizzando l'eccesso di anidride carbonica presente nell'atmosfera: esso sarebbe quindi non solo neutrale dal punto di vista del cambiamento climatico, ma addirittura contribuirebbe attivamente alla sua riduzione.

Infine un terzo progetto, cui sta lavorando un gruppo di ricercatori diretto da James Liao, docente di ingegneria chimica e biomolecolare presso la UCLA, prevede di realizzare artificialmente batteri che, inseriti in alghe, producano direttamente il combustibile mediante un processo di fotosintesi.

Questi progetti, tuttavia, richiedono pur sempre la coltivazione di alghe nelle quali inserire gli organismi prodotti biosinteticamente. Devono quindi essere disponibili vaste quantità di territorio da adibire a questo scopo: la produzione di 100 grammi di combustibile per mq al giorno (un risultato eccezionale, tenuto conto che sarebbe 10 volte quanto si ottiene attualmente da alghe non trattate biosinteticamente) richiederebbe alcuni milioni di ettari per soddisfare il fabbisogno annuale di combustibile dei soli Stati Uniti.

(31) In <http://www.ls9.com/>.

Lo spazio necessario potrebbe però ridursi in modo sostanziale se si riuscissero a realizzare organismi sintetici che producono combustibile trasformando l'anidride carbonica esistente nell'atmosfera senza far uso della fotosintesi.

Varie soluzioni sono da tempo allo studio. Una prima possibilità è quella di creare elettrocombustibili realizzati da organismi che siano alimentati a mezzo di pannelli solari o di energia eolica. Un programma che si propone di sviluppare questa soluzione è attualmente in svolgimento con fondi della *Advanced Research Projects Agency-Energy (Arpa-e)*, un'agenzia federale degli Stati Uniti che sta effettuando massicci investimenti nella ricerca di nuove fonti di energia (32). Il combustibile ottenuto potrebbe perfino essere più efficiente di quelli prodotti mediante fotosintesi e, soprattutto, potrebbe essere simile all'attuale combustibile diesel, con il vantaggio di poter utilizzare gli impianti di distribuzione attualmente esistenti.

Una diversa possibilità prevede l'utilizzo di microorganismi esistenti in natura che vivono in ambienti estremi (per lo più in profondità sotterranee), dove traggono l'energia necessaria alla loro sopravvivenza da molecole inorganiche, come l'anidride carbonica. In questo caso, potrebbero essere utilizzati appositi bioreattori, eventualmente sistemati sottoterra, con un ridotto consumo di aree (33).

A giudizio di tutti gli esperti i prossimi anni saranno decisivi per comprendere come verrà prodotta, in futuro, l'energia di cui abbiamo bisogno. E gli studi, le ricerche e i progetti cui abbiamo accennato inducono molti a pensare che la biologia sintetica offrirà concrete possibilità per ridurre, se non del tutto abbandonare, l'uso del petrolio, ben prima che si ponga il problema del suo esaurimento.

(32) In <http://arpa-e.energy.gov/>.

(33) A un progetto di questo tipo sono diretti finanziamenti consistenti del Dipartimento federale dell'energia (da una intervista a Eric Toone, docente di biochimica presso la Duke University).

S. NESPOR, *La biologia sintetica e l'ambiente*, in *Rivista Giuridica dell'Ambiente*, Milano, Giuffrè, 2012, n. 2, pp. 161-176.

Una nuova disciplina, o meglio una fusione della pre-esistente disciplina, chiamata biologia sintetica, offre la possibilità di creare nuove forme di vita. Le prospettive di applicazioni sono illimitate e gli investimenti da parte delle istituzioni pubbliche e private sono già enormi.

In questo articolo, dopo una breve storia della nascita e del recente sviluppo della biologia sintetica, l'Autore esplora le diverse applicazioni in campo ambientale (tra esse, il *bioremediation* di siti inquinati), e in particolare le numerose ricerche svolte per trovare un'alternativa all'olio, le cui riserve non basteranno per sempre.

Un biocarburante ecologicamente benevolo è il modo migliore per evitare l'incremento del cambiamento climatico.

A new discipline, or better a fusion of pre-existent disciplines, called synthetic biology, offers the possibility to create new forms of life. The prospects of applications are limitless and the investment from private and public institutions are already huge.

In this article, after a brief history of the beginning and the early development of the synthetic biology, the Author explores the several applications concerning the environment (amongst them, the bioremediation of polluted sites) and in particular, the several researches launched to find an alternative to oil, whose reserves will not last for ever.

A biofuel environmentally friendly is the goal to avoid the increase of climate change.