Biologia

sintetica -

Riflessioni

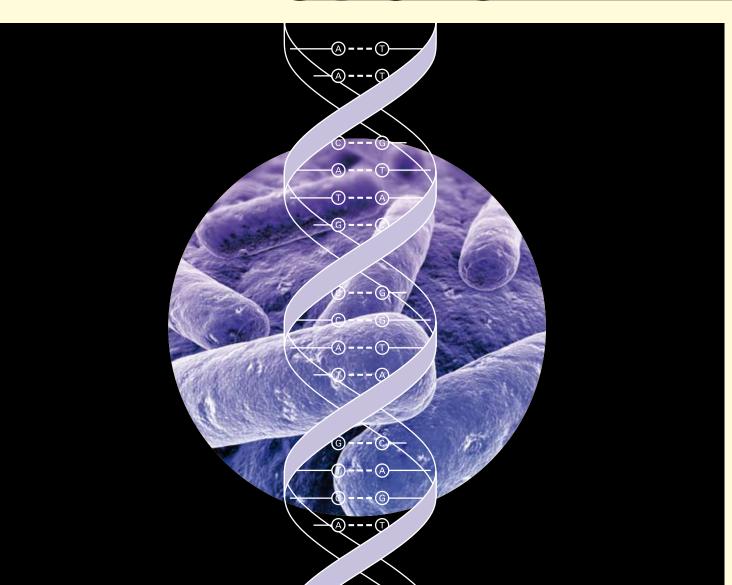
Rapporto della Commissione

federale d'etica per la

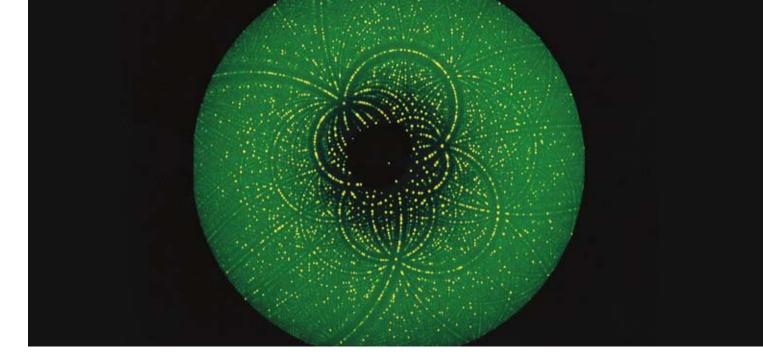
biotecnologia nel settore

non umano

etiche



1	Premessa	3
2	Il concetto di biologia sintetica secondo la comunità scientifica	5
3	La biologia sintetica, un campo d'attività con svariati obiettivi e metodi di lavoro	8
4	Campi di applicazione della biologia sintetica	9
5 5.1 5.2	L'ambizione della biologia sintetica Nuovi organismi viventi	10 10
5.2 5.3 5.4	Fabbricazione di organismi viventi Controllabilità Diverse concezioni	11 11
6	ontologiche della vita Statuto morale degli	12
6.1	organismi viventi utilizzati o prodotti dalla biologia sintetica Considerazione morale sulla	15
6.2	base di un valore morale Considerazione morale di interessi a prescindere da	15
6.3	un valore morale Valutazione basata su una ponderazione degli interessi	17 17
7	Riflessioni sull'etica della responsabilità	19
7.1	Che impatto ha l'orientamento sociale sull'utilizzazione degli	10
7.2	organismi viventi? Considerazioni sul piano	19
7.3	della giustizia Riflessioni sull'etica del rischio	20 22
7.3.2 7.3.3	Caratterizzazione e analisi corretta dei rischi Valutazione dei rischi Obblighi di diligenza	24 25 26
7.3.4	Conclusioni sull'utilizzazione di organismi fabbricati sinteticamente	27
8	Riepilogo	28
9	Bibliografia	30



1 Premessa

La biologia sintetica è un settore relativamente nuovo della ricerca che coniuga elementi di biologia molecolare (ingegneria genetica), chimica, scienze informatiche e delle scienze ingegneristiche. La biologia sintetica si basa sull'idea che si possono trasformare e costruire organismi viventi in maniera controllata e mirata.

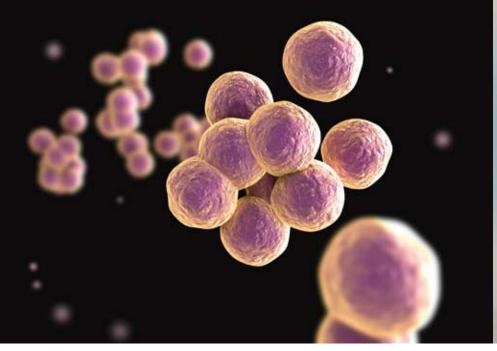
In biologia sintetica si lavora con sistemi che possiedono funzioni tipiche degli organismi viventi. Per poter esprimere una valutazione etica è dunque essenziale chiarire il concetto di vita. La questione si è posta anche per l'applicazione di altre tecnologie, ma finora non è stata percepita con la stessa urgenza con cui vengono oggi sentiti alcuni obiettivi della biologia sintetica.

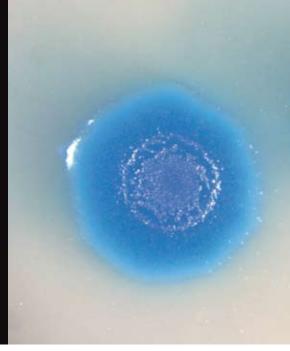
Nell'aprile del 1998, il Consiglio federale ha istituito la CENU quale commissione consultiva indipendente incaricata di sorvegliare gli sviluppi e le applicazioni della biotecnologia nel settore non umano e fornire valutazioni di carattere etico. La CENU è chiamata a esprimere un parere etico sulle questioni scientifiche e sociali

che emergono in questo settore e a prestare consulenza al Consiglio federale e all'Amministrazione federale in vista dell'emanazione di nuove prescrizioni.1 La CENU è costituita da un numero massimo di 12 membri, tutti esperti esterni all'Amministrazione provenienti da settori diversi. Si tratta per la maggior parte di specialisti di etica in ambito filosofico o teologico, ma sono rappresentati anche i settori biologia, biologia molecolare, genetica, medicina e diritto. I membri e la presidenza sono nominati ad personam dal Consiglio federale². Deve essere garantita una composizione che consenta di far confluire nel dibattito interno differenti approcci etici. La CENU è coadiuvata da un segretariato scientifico e può all'occorrenza avvalersi di esperti esterni o commissionare perizie a terzi.

In vista dell'elaborazione del presente rapporto la CENU ha interpellato numerosi esperti, invitandoli a intervenire in occasione di relazioni e colloqui, e ha commissionato alcuni studi esterni. Per acquisire una visione d'insieme del concetto di vita utilizzato finora in ambito filosofico ha incaricato il dott.

- 1 Nel 2003, con l'articolo 23 della nuova legge federale sull'ingegneria genetica nel settore non umano (legge sull'ingegneria genetica, LIG, RS 814.91) è stata conferita un nuova base legale alla CENU e al suo mandato.
- 2 Il mandato, la composizione attuale e tutte le prese di posizione nonché le pubblicazioni sono disponibili sul sito www.ekah.admin.ch.





Andreas Brenner (libero docente di fi-Iosofia presso l'Università di Basilea) di redigere una perizia, che è stata pubblicata nel 2007 con il titolo «Leben -Eine philosophische Untersuchung»³, nella collana della CENU «Beiträge zur Ethik und Biotechnologie»4. Nel 2007 la dott.ssa Anne Eckhardt, della ditta risicare GmbH di Zurigo, ha redatto per la CENU uno studio d'insieme che illustra come è strutturato il campo di ricerca della biologia sintetica e quali sono gli obiettivi dei diversi attori5. A settembre del 2007, il prof. Sven Panke dell'Institut für Verfahrenstechnik del Politecnico federale di Zurigo ha organizzato per la CENU un'introduzione alla biologia sintetica. A fine 2007, la CENU ha commissionato altri due studi. Il primo è stato affidato al prof. Giovanni Maio dell'Institut für Ethik und Geschichte der Medizin dell'Università di Friburgo i. Br., cui è stato chiesto di elaborare una «mappa etica» della biologia sintetica. La perizia, elaborata congiuntamente al dott. Joachim Boldt e al dott. Oliver Müller, è stata pubblicata nel 2009 con il titolo «Synthetische Biologie - Eine ethischphilosophische Analyse»⁶, edito nella collana della CENU. Al dott. Bernard Baertschi, dell'Institut éthique biomédicale dell'Università di Ginevra e membro della CENU, è stata invece affidata una perizia sullo statuto morale delle forme di vita artificiali. Il lavoro, edito dalla CENU, è stato pubblicato nel 2009 con il titolo «La vie artificielle - Le statut moral des êtres vivants artificiels»7. Parallelamente, i membri della CENU hanno approfondito le diverse concezioni della vita con il prof. Beda Stadler, dell'Institut

für Immunologie dell'Università di Berna. II prof. em. Frederick Meins del Friedrich Miescher Institute (FMI) for Biomedical Research di Basilea ha illustrato alla CENU il ruolo dell'epigenetica e le cause di diversi fenomeni epigenetici. Il prof. Joachim Frey dell'Institut für Veterinärbakteriologie dell'Università di Berna, anche membro della Commissione federale per la sicurezza biologica CFSB, è stato interpellato in materia di microrganismi, in particolare sui Mycoplasma sp, che rappresentano un modello per la biologia sintetica. Il dott. Kurt Hanselmann, della ditta i-research and training di Zurigo e collaboratore del gruppo Microbial Ecology dell'Università di Zurigo, ha tenuto una relazione sul ruolo, il comportamento e le funzioni dei microrganismi nell'ecosistema.

- 3 Andreas Brenner, Leben Eine philosophische Untersuchung, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, volume 3, edito dalla CENU, Berna, 2007.
- 4 Nella collana «Beiträge zur Ethik und Biotechnologie», la CENU pubblica tutti i rapporti commissionati agli esperti. Questi rapporti costituiscono un'importante base di riferimento per la trattazione dei molteplici aspetti etici della biotecnologia e servono alla Commissione come documenti di lavoro. Le pubblicazioni si possono ordinare presso l'Ufficio federale delle costruzioni e della logistica UFCL (www.bundespublikationen.ch) o in libreria. I testi possono inoltre essere scaricati gratuitamente sul sito della CENU (www.ekah. admin.ch).
- 5 Anne Eckhardt, Synthetische Biologie. Organisation und Ziele, rapporto per la CENU, 2008, (http://www.ekah.admin.ch/de/dokumentation/ externe-gutachten/index.html).
- 6 Joachim Boldt, Oliver Müller, Giovanni Maio, Synthetische Biologie Eine ethisch-philosophische Analyse, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, volume 5, edito dalla CENU, Berna, 2009.
- 7 Bernard Baertschi, La vie artificielle Le statut moral des êtres vivants artificiels, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, volume 6, edito dalla CENU, Berna, 2009.



2 Il concetto di biologia sintetica secondo la comunità scientifica

Per poter valutare dal profilo etico la biologia sintetica e, in particolare, i suoi obiettivi e le sue conseguenze occorre innanzitutto chiarire l'oggetto d'interesse di questo ramo della ricerca. Colpisce per prima cosa l'uso piuttosto ambiguo del concetto di biologia sintetica, non solo nel linguaggio corrente ma anche nel linguaggio scientifico. Secondo alcune definizioni, il suo obiettivo si limiterebbe allo studio e alla comprensione delle «esigenze minime dei processi vitali»8, mentre altre definizioni alludono chiaramente alla creazione di sistemi viventi finora non presenti in natura. Si punterebbe ad esempio alla costruzione e alla composizione mirata delle cellule e dei relativi processi metabolici per indurle a svolgere nuove funzioni. Alcuni ricercatori preconizzano la trasformazione o la creazione da zero di organismi viventi partendo da seguenze standard di DNA o, addirittura, la fabbricazione di forme di vita utilizzando solo componenti chimici e caratteristiche strutturali del DNA. Nel 2003, Steven A. Benner descriveva su Nature le ambizioni della biologia sintetica:

«To a synthetic biologist, life is a special kind of chemistry, one that combines a frequently encountered property of organic molecules (the ability to undergo spontaneous transformation) with an uncommon property (the ability to direct the synthesis of self-copies), in a way that allows transformed molecular structures themselves to be copied. Any chemical system that combines these properties will be able to undergo Darwinian selection, evolving in structure to replicate more efficiently. In a word, (life) will have been created.»

Sebbene Steven A. Benner parli della creazione di forme di vita, non stupisce la sua scelta di mettere tra virgolette il termine «vita». Una delle questioni centrali per una valutazione etica consiste proprio nel chiarire come deve essere qualificato il prodotto della biologia sintetica. Si tratta realmente della creazione di forme di vita? E cosa si intende per vita? Andreas Brenner fa notare che molti studiosi di scienze naturali evitano di affrontare tali questioni. I pionieri della biologia sintetica hanno assunto invece un atteggiamento diverso. Nel 2001 Jack W. Szostak.

- 8 Si veda http://www.ethz.ch/news/ethupdate/ 2007/070619 1/index.
- 9 Steven A. Benner, Synthetic biology: Act natural. In: Nature. Vol. 421, 9 gennaio 2003, pag. 118 (citato da A. Brenner, Leben, 2007, pag. 158). Traduzione: «Per un biologo sintetico la vita è una forma particolare di chimica che combina una proprietà ricorrente delle molecole organiche (la capacità di trasformarsi spontaneamente) con una proprietà poco comune (la capacità di replicarsi per sintesi), per fare in modo che una volta trasformate le strutture molecolari possano replicarsi. Qualsiasi sistema chimico che combina queste proprietà sarà soggetto alla legge di Darwin ed evolverà in strutture in grado di replicarsi in maniera più efficace. In una sola parola, verrà creata (vita).»



David P. Bartel e Pier Luigi Luisi hanno pubblicato, sempre su Nature, un articolo in cui cercano di fornire una definizione di vita, non senza riconoscerne le enormi difficoltà¹⁰.

«We can consider life as a property that emerges from the union of two fundamentally different kinds of replicating systems: the informational genome and the three-dimensional structure in which it resides.»¹¹

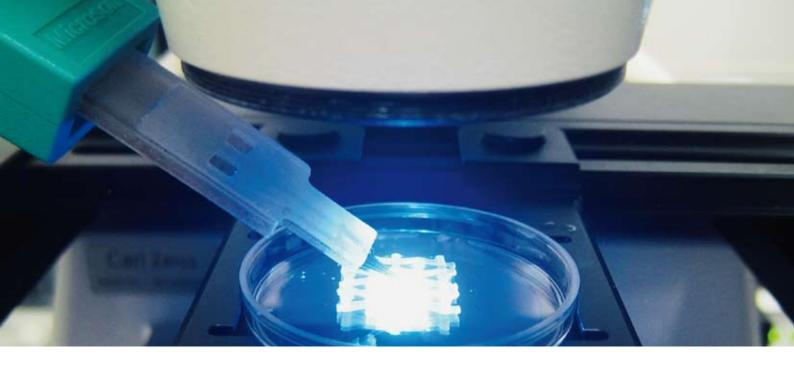
Ciò che colpisce delle definizioni di biologia sintetica impiegate attualmente in seno alla comunità scientifica è che evitano prevalentemente di utilizzare il termine «vita», preferendo invece parlare di sistemi biologici. Viene quindi messo in rilevo il carattere tecnico della disciplina. Il progetto TESSY¹² dell'Unione europea fornisce la seguente definizione di biologia sintetica:

«Synthetic biology aims to 1. engineer and study biological systems that do not exist as such in nature, and 2. use this approach for i) achieving better understanding of life processes, ii) generating and assembling functional modular components, or iii) develop novel applications or processes.»¹³

Questa definizione è formulata in termini talmente generici da farvi rientrare anche gli organismi transgenici. Inoltre, non spiega quali siano le novità introdotte dalla biologia sintetica rispetto all'ingegneria genetica. Sul sito Internet della Synthetic Biology 4.0 Conference tenutasi a Hong Kong nell'ottobre del 2008 figura la seguente definizione di biologia sintetica:

«Synthetic Biology is a new approach to engineering biology, with an emphasis on technologies to write DNA. Recent advances make the de novo chemical synthesis of long DNA polymers routine and precise. Foundational work, including the standardization of DNA-encoded parts and devices, enables them to be combined to create programs to control cells.»¹⁴

- 10 Andreas Brenner, Leben Eine philosophische Untersuchung, 2007, pag. 156.
- 11 Jack W. Szostak, David P. Bartel e Pier Luigi Luisi, Synthesizing life. In: Nature: vol. 409, 18 gennaio 2001, pag. 387 (citato da A. Brenner, Leben, 2007, pag. 156). Traduzione: «La vita può essere considerata una proprietà che nasce dall'unione di due sistemi replicanti fondamentalmente diversi: il genoma quale portatore di informazioni e la struttura tridimensionale in cui esso risiede.»
- 12 TESSY è l'acronimo di: Towards a European Strategy for Synthetic Biology.
- 13 Si veda: www.tessy-europe.eu/public_docs/
 TESSY-Final-Report_D5-3.pdf.. Traduzione: «La
 biologia sintetica si prefigge 1) di progettare e
 studiare sistemi biologici che non esistono in natura, e 2) di usare questo approccio per i) capire
 meglio i processi vitali, ii) generare e assemblare
 componenti modulari funzionali o iii) sviluppare
 nuove applicazioni o processi.»
- 14 Si veda Synthetic Biology 4.0 Conference, 10–12 ottobre 2008, Hong Kong University of Science & Technology, http://sb4.biobricks.org/field. (la Synthetic Biology 5.0 Conference è in corso di preparazione: http://syntheticbiology.org/Conferences. html). Traduzione: «La biologia sintetica è un nuovo approccio della biotecnologia che si focalizza sulle tecnologie in grado di scrivere il DNA. Recenti sviluppi hanno trasformato in un'attività di routine precisa la sintesi de novo di lunghi polimeri di DNA. Il lavoro di base di ricerca, che comprende la standardizzazione di componenti e caratteristiche strutturali codificati del DNA, consente di ricombinarli per sviluppare programmi finalizzati al controllo delle cellule».



Interpellati sulle novità della biologia sintetica rispetto all'ingegneria genetica, gli autori del sito si sono espressi nel modo seguente:

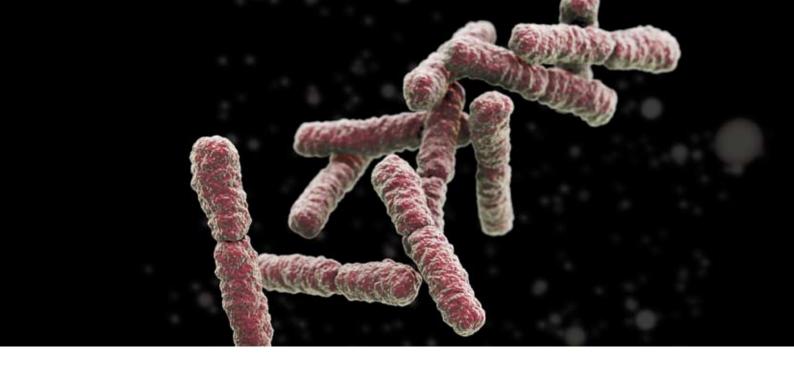
«Synthetic Biology builds on tools that have been developed over the last 30 years. Genetic engineering has focused on the use of molecular biology to build DNA (for example, cloning and PCR) and automated sequencing to read DNA. Synthetic Biology adds the automated synthesis of DNA, the setting of standards and the use of abstraction to simplify the design process.»¹⁵

La standardizzazione e l'automazione della fabbricazione di sistemi biologici costituiscono dunque il fulcro della biologia sintetica e rappresentano il presupposto per il raggiungimento dei suoi obiettivi: la progettazione e la realizzazione o la riproduzione di componenti o sistemi biologici nuovi o già esistenti.

«Synthetic biology refers to both:

- the design and fabrication of biological components and systems that do not already exist in the natural world,
- the re-design and fabrication of existing biological systems.¹⁶

- 15 Si veda Synthetic Biology 4.0 Conference, 10—12 ottobre 2008, Hong Kong University of Science & Technology (http://sb4.biobricks.org/field). Traduzione: «La biologia sintetica poggia su tecniche che sono state sviluppate nell'arco degli ultimi 30 anni. L'ingegneria genetica si è focalizzata sull'impiego della biologia molecolare per costruire DNA (ad es. clonazione e PCR) e sul sequenziamento automatico per la lettura del DNA. La biologia sintetica si avvale in più della sintesi automatica del DNA, definisce standard e ricorre all'astrazione per semplificare il processo di progettazione».
- 16 Si veda http://syntheticbiology.org/FAQ.html (stando alle informazioni in possesso, tutti i membri della Synthetic Biology Community possono fornire il proprio contributo al sito). Traduzione:
 «La biologia sintetica riguarda sia la progettazione e costruzione di componenti e sistemi biologici non presenti in natura, sia la riprogettazione e riproduzione di sistemi biologici esistenti.»



3 La biologia sintetica, un campo d'attività con svariati obiettivi e metodi di lavoro

La biologia sintetica pone in primo piano la progettazione e la fabbricazione di componenti e sistemi biologici non presenti in natura come pure la ricostruzione e la riproduzione di sistemi biologici già esistenti. Per raggiungere tali obiettivi ricorre a metodi diversi. Gli approcci riconosciuti che vengono identificati con la biologia sintetica sono sostanzialmente tre. Il primo approccio è detto anche modello di Chassis. Con un procedimento top-down, il genoma di un organismo vivente esistente viene ridotto ai minimi termini, ovvero a quello stadio in cui - in condizioni di laboratorio l'organismo dispone ancora di tutte le componenti fondamentali che garantiscono una permanenza minima del sistema e un metabolismo elementare. In questo organismo, ridotto alla sua forma minima, si inseriscono appositi moduli sintetici allo scopo di indurre l'organismo a svolgere le nuove funzioni desiderate, ad esempio produrre una determinata sostanza. Attualmente il modello è applicato unicamente a batteri e virus. Dato che prevede l'utilizzo di organismi viventi già esistenti che vengono dotati di nuove proprietà, questo orientamento della biologia sintetica può essere definito anche come «ingegneria genetica estrema». Il secondo approccio, detto anche **modello lego**, si basa sull'assemblaggio di biobrick – sequenze funzionali definite di DNA – secondo un procedimento bottom-up, con l'obiettivo mirato di produrre nuove forme di vita. Procedendo gradualmente si costruiscono sistemi chimici che presentano proprietà specifiche degli organismi viventi. Questo modello prevede l'ausilio di una tecnica che, non servendosi di organismi già presenti in natura, si spinge oltre l'ingegneria genetica. Questo approccio è chiamato anche «biologia sintetica assoluta».

Come già visto sopra, nella definizione degli obiettivi, il concetto di biologia sintetica ingloba anche un terzo approccio, quello della sintesi di sequenze di DNA, ad esempio l'assemblaggio di sequenze ideate *ex nihilo* o già esistenti.



4 Campi di applicazione della biologia sintetica

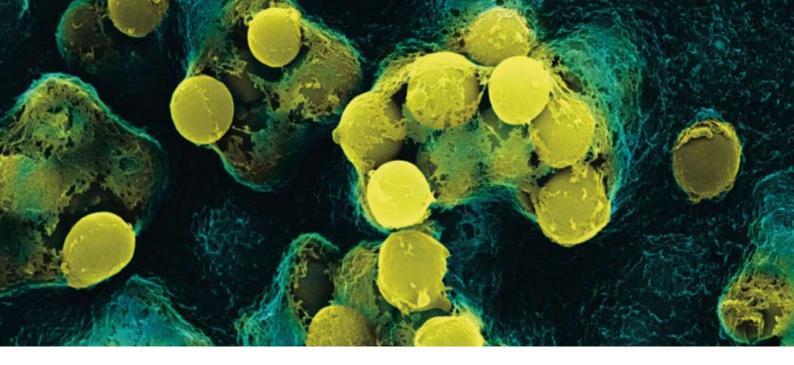
La biologia sintetica potrebbe trovare applicazione in molti campi, tra cui¹⁷:

- Produzione di energia: per la fabbricazione di cellule sintetiche che consentano di trasformare le materie prime rinnovabili in energia.
- Produzione di materiali: le cellule ricombinanti verrebbero prodotte in maniera tale da fungere da precursori chimici per la produzione di materie plastiche o tessili, ad esempio seta di ragno o prodotti sostitutivi di preparati petrolchimici.
- Industria farmaceutica: l'idea è quella di utilizzare batteri e lieviti ottenuti sinteticamente per ridurre i costi di produzione dei farmaci. L'artemisinina, ad esempio, è impiegata nella profilassi antimalarica e l'atorvastatin (Lipitor®) è un principio attivo utilizzato per ridurre il colesterolo.

- Medicina: l'obiettivo è programmare le cellule per scopi terapeutici. Batteri e cellule T vengono modificati in modo tale che possano circolare nel corpo, identificare e curare le cellule e i tessuti malati.
- **Applicazioni militari:** si esplora la possibilità di impiegare la biologia sintetica per sviluppare o contrastare nuove armi biologiche.
- Tecnologie ambientali: i batteri che legano l'anidride carbonica potrebbero contribuire a ridurre le concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera.
- «Tecnologia universale»: grazie alle scoperte della biologia sintetica si possono simulare e studiare al computer reti biologiche complesse. L'idea è, ad esempio, quella di sviluppare e costruire al computer principi attivi in grado di influenzare tali sistemi biologici.

L'unica applicazione della biologia sintetica è avvenuta sinora in campo farmaceutico con la messa sul mercato dell'artemisinina, un farmaco per la profilassi antimalarica, e dell'atorvastatin, un farmaco che riduce il colesterolo. Si tratta, in ambedue i casi, di un approccio basato sul modello di Chassis e, dunque, di una forma di ingegneria genetica. L'applicazione della biologia sintetica negli altri campi rimane per ora una visione futuristica. Per l'analisi etica assumono ad ogni modo rilevanza non solo i progressi già realizzati, bensì anche le intenzioni e le ambizioni, ovvero la volontà di fabbricare in maniera controllata nuovi organismi viventi e di guidarne le

¹⁷ Si veda http://sb4.biobricks.org/field (Synthetic Biology 4.0 Conference, 10-12 ottobre 2008, Hong Kong University of Science & Technology) o una panoramica dei progetti attualmente in corso in Europa nel campo della biologia sintetica: http:// www.synbiosafe.eu/index.php?page=other-sbprojects.



5 L'ambizione della biologia sintetica

La biologia sintetica ha l'ambizione di costruire nuovi organismi viventi e di influenzarne le diverse funzioni all'interno di un processo controllato. Come giudicare questa ambizione da un punto di vista etico? Per poter rispondere a questo interrogativo è opportuno esaminare separatamente ogni singolo aspetto della questione. Cosa si intende esattamente per «nuovi organismi viventi»? Cosa significa «costruire»? Che interpretazione dare al termine «controllabilità»?

5.1 Nuovi organismi viventi

Cosa si intende esattamente quando, nel contesto del modello lego, si parla di creare *nuovi organismi viventi?* Il modello lego, come del resto gli altri approcci della biologia sintetica, utilizza molecole presenti in natura. Si parte dunque sempre da qualcosa di già esistente. In questo contesto, «nuovo» non va pertanto inteso nel senso di creare prodotti *ex nihilo,* ovvero dal nulla.¹⁸

O per «nuovo» si intende «di tipo nuovo»? Rispetto all'ingegneria genetica, la novità introdotta dalla biologia

sintetica non è tanto il fatto che crea forme di vita di tipo nuovo, quanto invece le modalità impiegate nel caso del modello lego. La biologia sintetica non modifica organismi viventi esistenti, ma si propone di costruirli utilizzando elementi che non sono in sé degli organismi viventi. Se ci si limita all'affermazione che organismi di questo tipo non esistevano in passato, si sposa la tesi secondo cui la biologia sintetica non fa altro che ripetere, in entrambi i suoi modelli Chassis e lego, i processi applicati da diecimila anni nella selezione delle specie e, superando anche i confini delle specie, da cinquant'anni nell'ingegneria genetica. Nemmeno i cani, come ad esempio il bassotto, esistevano prima che l'uomo li allevasse.

O «nuovo» va inteso nel senso che questi organismi viventi vengono creati in parte o interamente con materia inorganica, come si prefiggono alcune concezioni della biologia sintetica? Ciò presupporrebbe l'impiego di elementi o composti chimici finora attribuiti alla branca della chimica inorganica. Si definiscono inorganici gli elementi e le reazioni chimiche di sostanze che

18 La critica secondo cui il modello lego pretenderebbe di «sostituirsi a Dio» poiché aspirerebbe a creare nuove forme di vita si basa su una concezione d'impronta fortemente cristiano-occidentale, nella quale Dio ha creato la materia dal nulla. Altre religioni non attribuiscono al potere divino la creazione dell'universo e anche diversi filoni della filosofia greco-romana antica si basano sull'assunto che la materia è eterna.



non originano da materia organica. Si definiscono organici i composti di carbonio. Fintanto che i progetti ispirati al modello lego continueranno a basarsi su composti di carbonio presenti in natura, non genereranno nulla di nuovo ai sensi della prima definizione. Si potrebbe parlare della creazione di nuove forme di vita soltanto dal momento in cui gli organismi viventi sintetizzati sono generati su base silicea e non da composti di carbonio.

Infine, il termine «nuovo» potrebbe essere inteso anche nel senso che, per la prima volta, si fabbricherebbero organismi viventi sulla base di principi ingegneristici, come avviene per le macchine progettate a tavolino e poi assemblate.

5.2 Fabbricazione di organismi viventi

L'obiettivo del modello lego è sintetizzare forme di vita partendo da composti molecolari che vengono assemblati per fabbricare organismi viventi. Cosa si intende per *fabbricare* o, persino, creare organismi viventi?

Per alcuni, questi concetti implicano unicamente il fatto che l'applicazione della tecnica della biologia sintetica permette di ottenere le condizioni indispensabili per creare vita. Chi contesta questa interpretazione obietta che non è compatibile con l'uso corrente del termine. In questo contesto, l'unica interpretazione plausibile dei termini «creare» e «generare» rimanderebbe al senso di sviluppare vita intesa come prodotto. Chi critica questa concezione

ribatte tuttavia che una simile interpretazione del concetto fabbricare implicherebbe una natura prettamente meccanica, fisica del processo di costruzione di organismi viventi, che non renderebbe giustizia al concetto di vita. Se poi la biologia sintetica si riconosce nella tradizione ingegneristica, considerando se stessa un connubio tra tecnica e arte, il concetto di fabbricare assume di conseguenza anche la connotazione di progettazione creativa, artistica. Se a questo concetto viene associata l'idea della creazione ex nihilo, la critica disapprova non solo il linguaggio usato dalla biologia sintetica, bensì anche la pretesa, che sembrerebbe in tal modo arrogarsi, di poter modificare e controllare la natura biologica nella tradizione della tecnica.

5.3 Controllabilità

La biologia sintetica rivendica la pretesa di poter trasformare (modello di Chassis) o costruire ex nihilo (modello lego) organismi viventi, nel quadro di un processo controllato e con obiettivi mirati, vale a dire in maniera calcolabile e controllabile. Ciò potrebbe implicare l'idea di poter continuare a controllare gli organismi anche dopo averli generati. Una simile prospettiva assume notevole rilevanza soprattutto in un'ottica di etica del rischio (cfr. punto 7). Per il momento ci si limita a vagliare la possibilità di costruire organismi viventi in un processo controllato. Come va valutata questa pretesa?

I critici contestano alla biologia sintetica che l'idea secondo cui la vita può essere decomposta nei suoi singoli



componenti poggi su un ragionamento prettamente meccanistico. Una simile interpretazione alimenterebbe una percezione piuttosto riduttiva della vita. La pretesa di poter controllare e dominare completamente gli organismi viventi, ovvero la loro esistenza e le loro funzioni, non è riferita solo ai microrganismi, ma viene estesa in generale a tutte le forme di vita. Una concezione così riduttiva della vita induce i critici a dedurre che l'obiettivo principale della biologia sintetica non è quello di capire meglio gli organismi viventi, ma piuttosto di poterli controllare meglio, quindi di strumentalizzarli.

Alla critica si potrebbe obiettare in primo luogo che generare conoscenza rientra nei compiti della scienza e che i nessi causali alla base della vita sono, in linea di principio, alla portata delle scienze naturali. In secondo luogo, che le conoscenze relative alle funzioni potrebbero bastare per il livello tecnico-sperimentale della biologia sintetica, nel qual caso non sarebbe affatto necessario sapere cosa è la vita per poter fare biologia sintetica e, probabilmente, tanto meno per poter esprimere un giudizio etico sulle sue conseguenze. Contro la critica secondo cui la biologia sintetica ha come obiettivo la strumentalizzazione degli organismi viventi si può obiettare che l'approfondimento delle conoscenze sugli organismi e le applicazioni tecniche del sapere sono strettamente collegati. Questo legame non implica che si rinunci alle applicazioni, bensì che si utilizzi sempre in maniera responsabile il potere che deriva dal controllo della tecnica.

5.4 Diverse concezioni ontologiche della vita

La risposta al quesito se la fabbricazione controllata di organismi viventi sia in linea di principio possibile o impossibile dipende dalla definizione che si dà di vita che funge da base alla valutazione¹⁹.

Il concetto di vita suscita interpretazioni ontologiche controverse anche all'interno della CENU. Le differenze si colgono già nei diversi modi di affrontare l'argomento. Alcuni utilizzano un linguaggio ritenuto tecnico, descrivendo la vita come un insieme di funzioni (organizzazione, riproduzione, metabolismo, reazione a stimoli esterni). L'origine della vita trova qui spiegazione in una logica causale. Altri impiegano invece un linguaggio che guarda maggiormente ai sistemi nel loro insieme, propendendo quindi per un approccio più ermeneutico. Secondo questa interpretazione, il significato di vita non si riduce alla descrizione di funzioni. L'utilizzazione di organismi viventi presuppone anche conoscenze operative.

Per quanto questi due approcci e i relativi significati del concetto di vita siano fondamentalmente diversi e inconciliabili, la questione non si risolve mantenendoli semplicemente distinti, dato che ambedue rivendicano la stessa pretesa, ovvero quella di poter fornire una risposta alla domanda «cosa si intende per vita». L'interpretazione ontologica, secondo cui il concetto di vita trova, in definitiva, una spiegazione logico-causale, non

19 Benché la definizione ad esempio di TESSY parli di sistemi biologici e non di vita, il dibattito verte necessariamente sul significato di vita. Il termine «sistemi biologici» è un concetto astratto usato talvolta come sinonimo di «vita».



vede nessuna spiegazione plausibile secondo la quale non dovrebbero bastare le conoscenze sulle funzioni per poter dare una valutazione adeguata dell'utilizzazione di organismi viventi. La seconda interpretazione non ammette invece un simile ragionamento, poiché esclude che si possa cogliere e spiegare il concetto di vita unicamente sulla base di un sapere circoscritto alle funzioni. Secondo questa impostazione, per garantire un'utilizzazione eticamente giusta degli organismi viventi è dunque indispensabile disporre di conoscenze supplementari adeguate cui si accede esclusivamente con un approccio ermeneutico.

La CENU distingue le seguenti posizioni ontologiche di fondo:

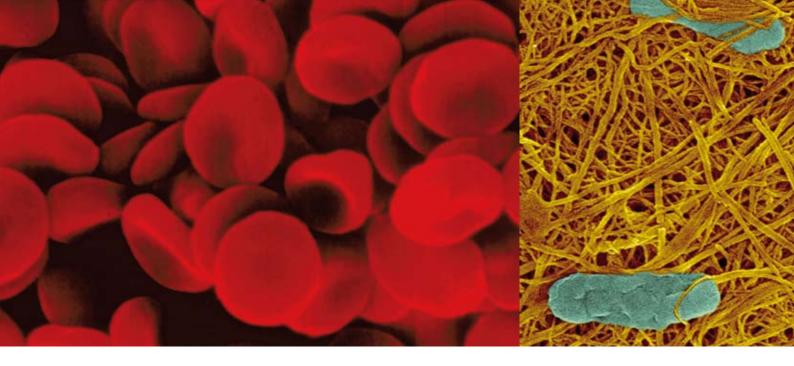
- Monismo: riduce a un principio uniforme i processi e i fenomeni della vita (in questo contesto: naturalismo/materialismo ontologico). La nostra definizione di vita altro non è che un insieme di caratteristiche prettamente fisico-chimiche di organismi viventi. La vita è o può essere dunque una caratteristica emergente di entità materiali.
- Vitalismo: sostiene che ogni forma di vita si basa su una forza vitale (vis vitalis) intesa come principio incondizionato che costituisce allo stesso tempo la peculiarità della vita rispetto a tutto ciò che è inanimato. Secondo questa corrente di pensiero, gli organismi non sono riducibili a mere caratteristiche chimico-fisiche e alla base della vita vi è almeno una caratteristica fondamentalmente ignota.

- **Dualismo:** per dualismo si intende solitamente la coesistenza o la contrapposizione di due principi, sostanze, forze e/o manifestazioni non collegabili e il più delle volte contrapposti. Al giorno d'oggi il dualismo è inteso anche nel senso di «dualismo polare», ovvero di coreferenzialità di due grandezze²⁰. In un'ottica dualista, la vita non può mai essere ridotta unicamente a caratteristiche materiali ed è sempre costituita da almeno una componente *immateriale*.
- Scetticismo: mette sostanzialmente in discussione l'ipotesi che si possano fare affermazioni veritiere sull'essenza della vita e raccomanda addirittura di astenersi da qualsiasi tipo di considerazione.
 - Una forma più moderata di scetticismo ritiene al momento impossibile stabilire cosa sia la vita.

I sostenitori di una visione monistica ammettono che gli organismi viventi hanno una natura puramente materiale e che non sussistono ragioni di fondo che impedirebbero al modello lego di non riuscire a generare la vita.

Chi crede in un'ontologia vitalistica o dualistica parte dal presupposto che alla base della vita vi sia almeno una caratteristica immateriale di per sé sconosciuta. Con ogni probabilità i sostenitori di questa posizione metteranno in dubbio l'idea di poter «assemblare» organismi viventi a partire da componenti inanimati. La comprensione dell'essenza e della genesi della vita sarebbe preclusa alla metodologia poggiante sulle scienze naturali. Non

20 Si veda Franz von Kutschera, Jenseits des Materialismus, mentis, Paderborn, 2003.



avrebbe dunque alcun fondamento la pretesa di poter fabbricare la vita in maniera controllata e mirata.

Affermando che qualsiasi progetto di utilizzazione di organismi viventi deve fare i conti con i limiti – magari anche solo provvisori – della teoria della conoscenza, gli scettici partono dal presupposto che non sia possibile sapere cosa è la vita. La questione ontologica volta a chiarire il concetto di vita non potrebbe quindi trovare risposta. Di conseguenza, gli scettici si devono astenere da qualsiasi tipo di giudizio sui prodotti della biologia sintetica.

Va sottolineato che né la visione scettica né quella vitalistica o dualistica escludono l'ipotesi che i prodotti del modello lego possano essere organismi viventi. La loro natura organica è riconoscibile per la presenza di determinate manifestazioni di vita, tra cui il metabolismo, la riproduzione, la capacità di muoversi da soli. Tuttavia, anche coloro che negano categoricamente qualsiasi possibilità di riuscita del modello lego (essendo dell'avviso che all'uomo è preclusa per principio la possibilità di fabbricare forme di vita), non hanno addotto per ora nessuna motivazione che giustifichi il divieto di tentare un simile percorso. Occorrerebbero altri motivi per vietare simili sperimentazioni che, seppur ritenute impossibili in termini ontologici, potrebbero, di fatto, aprire orizzonti promettenti.

Tutte le posizioni ontologiche menzionate lasciano aperta in definitiva la possibilità che il modello lego si riveli efficace, consentendo di produrre organismi viventi. Le differenze tra le singole posizioni riguardano il modo di intendere la controllabilità o la non controllabilità del processo e dei prodotti della biologia sintetica. Queste differenze nel linguaggio utilizzato e nel modo di interpretare la questione influenzano anche il dibattito intorno alle questioni di etica della responsabilità.

Metà dei membri della CENU, vale a dire la maggioranza, sostiene una posizione monistica. Una netta minoranza condivide una visione vitalistica del concetto di vita, mentre una minoranza più ristretta appoggia un'impostazione scettica. Una piccolissima minoranza condivide un'interpretazione dualistica del concetto di vita.



6 Statuto morale degli organismi viventi utilizzati o prodotti in biologia sintetica

I membri della CENU sono concordi nell'affermare che in caso di successo del modello lego, i prodotti così ottenuti sono da considerarsi organismi viventi. Il fatto che questi organismi viventi siano generati nell'ambito di un processo naturale o vengano creati con altri metodi non influisce in nessun modo sul loro statuto morale²¹. La biologia sintetica si focalizza per il momento sui microrganismi, che costituiscono il punto di partenza o il prodotto finale di entrambi i modelli analizzati. A lungo termine, tuttavia, quanto meno alcuni progetti visionari della biologia sintetica prendono in conto tutti gli organismi viventi. La questione più complessa e delicata riguarda ad ogni modo lo statuto morale dei microrganismi.

6.1 Considerazione morale sulla base di un valore morale

È lecito chiedersi se sia davvero necessario avviare un dibattito sul valore morale dei microrganismi o se, invece, non ci si possa limitare a esaminare le questioni di etica della responsabilità. Il quadro costituzionale che fa da cornice al dibattito esige tuttavia che si faccia luce sulla problematica del valore morale. Secondo l'articolo 120 della Costituzione federale della Confederazione svizzera, l'impiego di animali, piante e altri organismi deve avvenire tenendo conto della «dignità della creatura»²².

I microrganismi hanno un valore morale? Vale a dire possiedono ciò che viene anche definita «dignità»? Gli organismi che hanno un valore morale sono degni di considerazione morale per ciò che sono, ossia in quanto tali. Se si giunge alla conclusione che gli organismi hanno un valore morale, occorre in seguito chiarire quali obblighi diretti abbiamo nei loro confronti.

- 21 Su questo punto i membri della CENU fanno propria la tesi di nard Baertschi, il quale nella sua opera «La vie artificielle Le statut moral des êtres vivants artificiels» (2009) giunge alla conclusione che la genesi degli esseri viventi non ne influenza lo statuto morale.
- 22 Costituzione federale della Confederazione svizzera, RS 101, art. 120 Ingegneria genetica in ambito non umano, http://www.admin.ch/ch/i/ rs/101/a120.html.



Il fatto di ritenere i microrganismi deani di considerazione morale sulla base del loro valore morale dipende dalle posizioni etiche che si sostengono. Per quanto riguarda la questione relativa al valore morale, i membri della CENU hanno discusso gli approcci più comuni di etica ambientale cui si riferisce in genere anche la letteratura specialistica.

Concezione teocentrica: il teocentrismo rappresenta un modello cognitivo, etico e di interpretazione della natura in cui Dio (in greco theos) è principio, parametro e fine di ogni essere, sapere e agire. La posizione teocentrica si fonda sull'assunto che ogni cosa ha un valore in quanto è stata creata da Dio. Come tutti gli altri esseri viventi, i microrganismi non hanno un valore morale in sé, bensì un valore conferito loro da Dio, e vanno quindi considerati creature di Dio. Per i critici questo tipo di valore non ha valenza morale, quanto invece relazionale. Si può senz'altro ammettere, in un'ottica etico-religiosa, che Dio possa creare anche entità dotate di un valore morale. Secondo i critici tale posizione non rappresenta una visione teocentrica, ma propone invece delle concezioni antropocentriche, patocentriche, biocentriche ed ecocentriche.

l'antropocentrismo sostiene che solo l'uomo ha un valore intrinseco per ciò che è, ossia in quanto tale. Tutti gli altri organismi viventi hanno soltanto un

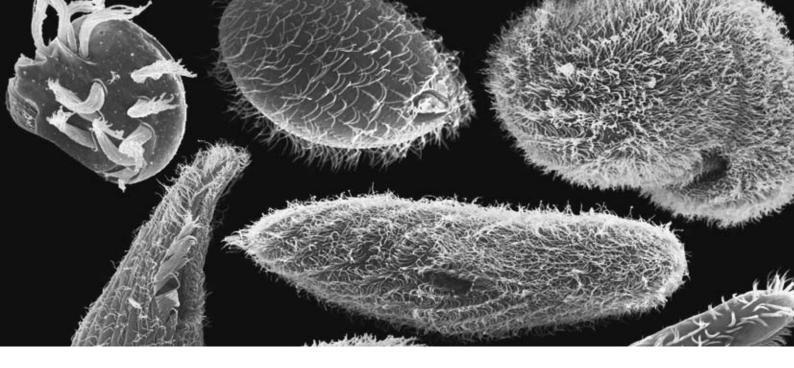
Concezioni antropocentriche: 23 valore relazionale o strumentale, e sono pertanto privi di valore morale. Il ruolo speciale attribuito all'uomo

nella concezione antropocentrica deriva o dal suo essere fatto a immagine e somiglianza di Dio (si veda anche il punto di vista teocentrico) o dalla sua (potenziale) capacità di raziocinio e dalla sua facoltà di astrazione e di parola. Nel secondo caso ci si rifà più precisamente al raziocentrismo. Tutti gli organismi in possesso delle stesse facoltà e caratteristiche dell'uomo rientrano nella categoria degli esservi viventi dotati di valore morale. Entrambe queste concezioni sono irrilevanti per la questione del valore morale dei microrganismi.

Tra le varie posizioni, quella antropologica-relazionale è considerata una forma moderata di antropocentrismo. Secondo questa concezione, all'uomo è attribuito un ruolo particolare, poiché è l'unico a potersi assumere la responsabilità di altri. Tutti gli altri esseri viventi non umani sono degni di considerazione morale in ragione del rapporto che hanno con l'uomo. Una variante teologica colloca a sua volta questo sistema di rapporti all'interno di un contesto teocentrico. Secondo i critici, anche in questo caso non si tratta di un valore morale, bensì di un valore relazionale. Sostenere che altri esseri viventi diversi dall'uomo hanno un qualche valore morale significa muoversi sul piano di una visione patocentrica, biocentrica o ecocentrica.

Concezione patocentrica: come tutti gli altri esseri viventi, i microrganismi possiedono un valore morale se sono in grado di percepire in qualche modo come dannoso un intervento pregiudizievole. Questa posizione deve saper

23 Un discorso a parte merita qui l'antropocentrismo epistemico, alla cui base vi è l'idea che è l'uomo a fare etica e che solo l'uomo percepisce i valori etici. L'antropocentrismo epistemico non indica come vadano valutati gli altri esseri viventi.



fornire se non altro degli indizi a prova del fatto che i microrganismi possono percepire come pregiudizievole un dato intervento dannoso.

Concezione biocentrica: i microrganismi sono organismi viventi. Tutti gli organismi viventi, e soltanto loro, hanno un valore morale. Questa posizione deve saper dimostrare in cosa gli organismi viventi si distinguono dalla materia inorganica. Ammettiamo pure che la concezione biocentrica definisca i virus come un'entità intermedia tra un organismo vivente e la materia inorganica: anche in questo caso, deve saper spiegare i criteri con cui ha operato questa classificazione.

Concezione ecocentrica: tutti gli esseri viventi, ma ancor più gli ecosistemi e le comunità di organismi hanno un valore morale. Secondo questa interpretazione, i microrganismi hanno un valore morale sia come individui concreti sia come parte di un ecosistema.

Concezione olistica: secondo questa posizione, solo la natura nel suo insieme ha un valore morale, a differenza degli individui, delle comunità e degli ecosistemi, che ne sono invece privi. I microrganismi possiedono soltanto un valore strumentale, e solo se nell'insieme svolgono una determinata funzione come singola entità o come gruppo.

6.2 Considerazione morale di interessi a prescindere da un valore morale

Alcuni approcci etici esaminano la questione senza considerare i concetti di «valore morale» e «dignità». Anche a prescindere dal requisito ontologico di un valore morale o di una dignità, vi è dunque la necessità di discutere sulla possibilità di attribuire diritti morali. Per poter attribuire dei diritti morali devono essere soddisfatte due condizioni: devono sussistere deali interessi e siffatti interessi devono avere un avvocato che li difenda. Ha tuttavia più senso parlare di interessi se sono associati a un concetto del sé. Per poter attribuire degli interessi è indispensabile che esista una qualsivoglia forma di sé.

6.3 Valutazione basata su una ponderazione degli interessi

A questo punto non è ancora chiaro quali conseguenze concrete avranno le posizioni fondate sulla convinzione che i microrganismi hanno un valore morale o interessi propri sull'utilizzazione degli stessi microrganismi. Siffatte conseguenze dipendono sempre anche dal peso che viene attribuito al valore morale o a tali interessi nell'ambito della ponderazione degli interessi.

Se stabiliamo che i microrganismi sono degni di considerazione in ragione del loro valore morale o di specifici interessi, si pone l'interrogativo delle modalità della ponderazione nell'ambito della loro utilizzazione. Ciò determinerà l'eventuale esistenza di obblighi

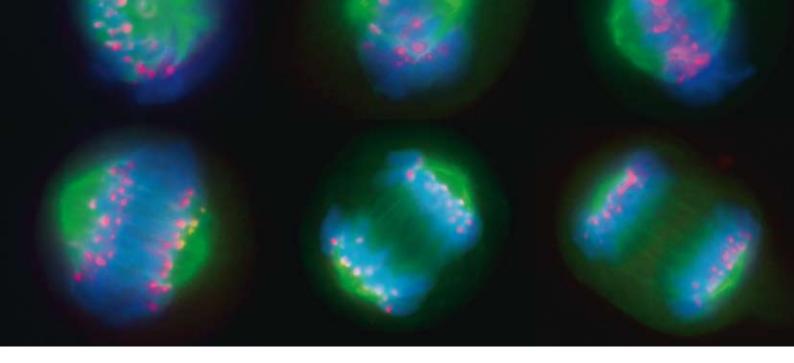


diretti nei confronti dei microrganismi e, in caso affermativo, anche quali sono questi obblighi. Si distinguono due posizioni nel modo di ponderare il valore morale o gli interessi dei microrganismi.

La posizione egualitaria si fonda sul principio che tutti gli esseri viventi sono degni di considerazione morale e che tutti sono alla pari. Essa ammette dunque la possibilità che gli interessi dei microrganismi siano da trattare alla stregua degli interessi di altri esseri viventi.

Secondo la posizione gerarchica, tutti gli esseri viventi sono degni di considerazione morale, ma non tutti lo sono allo stesso modo. Se a contare è l'appartenenza alla specie, a parità di interessi quelli dell'uomo hanno la precedenza sugli interessi degli animali, quelli degli animali la precedenza sugli interessi delle piante e, infine, quelli delle piante la precedenza sugli interessi dei microrganismi. Se invece contano determinate capacità e caratteristiche, più esse sono simili a quelle dell'uomo, maggiore è il loro peso nella ponderazione morale.

La maggioranza dei membri della Commissione condivide una posizione biocentrica gerarchica. Secondo questa concezione, i microrganismi hanno un valore morale in quanto esseri viventi. Tuttavia, in ragione della concezione gerarchica assunta, questo valore morale assume - nella ponderazione degli interessi - un peso trascurabile. Una minoranza difende un approccio patocentrico e afferma che non sussistono indizi comprovanti il fatto che i microrganismi siano in grado di percepire in qualche modo come dannoso un intervento pregiudizievole. Non viene loro attribuito, dunque, nessun valore morale ovvero nessun interesse proprio. Una minoranza più ristretta sostiene una posizione gerarchica antropologico-relazionale, secondo la quale i microrganismi sono degni di considerazione morale in ragione del loro rapporto con l'uomo. Operando una ponderazione etica degli interessi, però, anche con questa interpretazione ai microrganismi viene attribuito un peso trascurabile.



7 Riflessioni sull'etica della responsabilità

Oltre agli obblighi diretti vanno chiariti anche gli obblighi indiretti che derivano dalla fabbricazione di organismi sintetici. Quali responsabilità ha l'uomo per le conseguenze riconducibili agli organismi viventi artificiali che ha costruito?

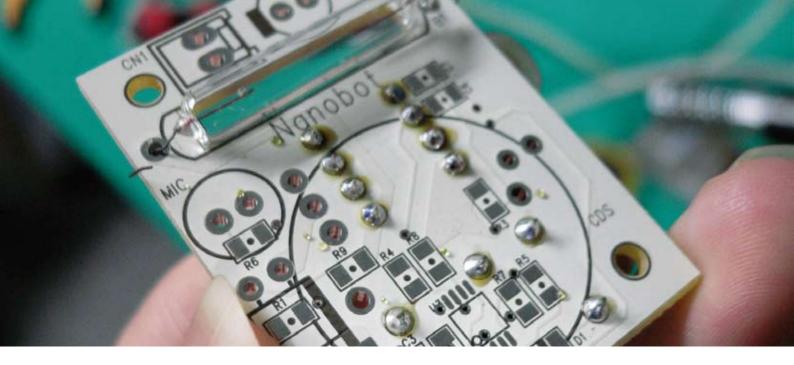
7.1 Che impatto ha l'orientamento sociale sull'utilizzazione degli organismi viventi?

Per quanto il valore morale dei microrganismi sia nullo o minimo, al punto che nella ponderazione degli interessi non è attribuita loro alcuna rilevanza pratica, e per quanto ridotta sia l'empatia che noi uomini proviamo per questi organismi viventi, si tratta pur sempre di esseri viventi. Non corriamo dunque il rischio – questo almeno è il timore manifestato – che il nostro modo di pensare, discutere e utilizzare i microrganismi spiani la strada a pratiche che hanno o che potrebbero avere conseguenze negative anche per altri esseri viventi, uomo incluso?

Secondo una critica condivisa anche da una **minoranza dei membri della CENU,** la biologia sintetica entrerebbe in conflitto con concetti elementari radicati nella società in merito a tecnica. cultura e natura²⁴. La biologia sintetica, sempre secondo questa critica, contribuirebbe a diffondere un concetto di vita di stampo fortemente meccanistico, e dunque riduzionistico, che influenzerebbe e guiderebbe non solo la ricerca, bensì tutti i settori della vita. La sua influenza si farebbe sentire anche a prescindere dalla concretizzazione delle visioni della biologia sintetica, poiché questa interpretazione della vita - divenendo dominante soppianterebbe le altre concezioni più olistiche.

Il modo di pensare alla base della biologia sintetica – così ancora la critica – è impregnato dei fondamenti delle scienze ingegneristiche. È espressione di un atteggiamento di fondo che considera gli esseri viventi alla stregua di entità fabbricabili, controllabili e a disposizione di chi vuole utilizzarli. Questo atteggiamento, che è riuscito ad imporsi perché alimentato da interessi di carattere tecnico-economico, modificherebbe tuttavia il nostro modo di percepire gli altri esseri viventi, la nostra scala di valori e il nostro modo

24 Su questo punto critico si vedano le spiegazioni in J. Boldt et al., Synthetische Biologie, 2009, pag. 5 ss.



di relazionarci non solo con detti organismi, ma con la vita in generale. Infine, cambierebbe anche l'immagine che l'uomo ha di sé e metterebbe a repentaglio la tutela della dignità umana.

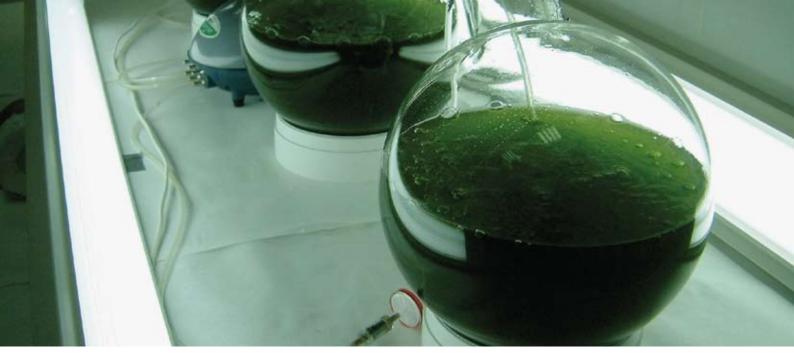
Contro questa critica vengono sollevate le seguenti obiezioni, riprese dalla la maggioranza dei membri della CENU. Posto che esistono diversi concetti culturali di riferimento, la critica mossa all'approccio meccanistico riduzionistico si applicherebbe unicamente a quelle correnti di pensiero incentrate sulla distinzione tra esseri viventi e macchine. Per essere credibile, la critica dovrebbe spiegare perché una concezione che opera una distinzione tra macchine ed esseri viventi debba essere ritenuta giusta, mentre altre concezioni che non si fondano su questa separazione debbano invece essere considerate sbagliate. Si segnala inoltre che il termine «meccanistico» è spesso utilizzato in senso spregiativo. Questa connotazione spregiativa negherebbe che anche le costruzioni meccanistiche possono essere molto complesse e non escludono pertanto un valore morale o interessi propri.

Alle critiche secondo cui si strumentalizzano gli esseri viventi si ribatte che una strumentalizzazione non è da considerarsi di per sé moralmente sbagliata. Persino la dignità umana non esclude la strumentalizzazione dell'uomo, ad esempio come forza lavoro o membro della famiglia, ma lo salvaguarda unicamente da una strumentalizzazione inaccettabile, vale a dire esclusiva o eccessiva. Per avvalorare questa argomentazione del piano inclinato occorrerebbe dimostrare che i metodi della biologia sintetica che prevedono l'utilizzo di microrganismi influenzano di fatto negativamente il nostro modo di interagire con altri organismi viventi, esseri umani inclusi. Occorrerebbe inoltre dimostrare se e in che misura il ragionamento su cui si fonda la biologia sintetica modifica il nostro modo di percepire gli altri esseri viventi e gli stessi esseri umani. Qualora poi si innescasse realmente un cambiamento di percezione e subentrasse anche una conseguente modificazione nel nostro modo di relazionarci e di utilizzare altri esseri viventi, andrebbe spiegato perché tutto ciò debba essere considerato negativo da un punto di vista morale. Bisognerebbe infine dimostrare che questo cambiamento comprometterebbe non solo l'immagine che abbiamo di noi stessi, bensì anche - di riflesso - la tutela della dignità umana.

I membri della CENU sono concordi nell'affermare che gli argomenti del piano inclinato sono una buona occasione per discutere anzitempo le possibili conseguenze in un'ottica etica, in modo tale da non perderle di vista. Sono tuttavia dell'avviso che le obiezioni avanzate dai critici non lasciano per ora intravedere la necessità di porre un veto sui progetti della biologia sintetica.

7.2 Considerazioni sul piano della giustizia

Tutte le tecnologie e le relative applicazioni, dunque non solo la biologia sintetica, vanno analizzate e valutate



anche dai diversi punti di vista della giustizia. Il concetto di giustizia ha diverse dimensioni. Come già motivato dalla CENU nel suo rapporto «Ingegneria genetica e Paesi in via di sviluppo»25, tra gli aspetti centrali di una collettività giusta vi sono la tutela dei diritti fondamentali, l'equa distribuzione dei beni materiali e immateriali all'interno di una società e la giustizia procedurale che garantisca un impegno di partecipazione dei singoli alla formazione della coscienza sociale e all'adozione di soluzioni. La biologia sintetica, come del resto tutte le altre tecnologie, va valutata in base alle conseguenze che ha sulle diverse dimensioni della giustizia²⁶. Particolare attenzione va prestata all'impatto della tecnologia nei Paesi in via di sviluppo e nei Paesi emergenti.

La questione della giustizia nelle pratiche della biologia sintetica si riallaccia per molti aspetti al dibattito sull'ingegneria genetica. Invece di concentrarsi su singoli progetti e visioni della biologia sintetica nell'intento di giudicarli da un punto di vista etico, la CENU si limita qui a esaminare i criteri che nella valutazione della biologia sintetica e delle relative concrete applicazioni andrebbero in ogni caso considerati dal punto di vista della giustizia.

Conseguenza sulla sicurezza alimentare, la sovranità alimentare e la biodiversità: Il dibattito pubblico sulla biologia sintetica ha assunto toni particolarmente accesi sui tentativi di produrre energia servendosi di organismi fabbricati sinteticamente. Gli uni sostengono che vi sia qui la possibilità di fornire un contributo decisivo alla produzione energetica e, al contempo, alla lotta contro il riscaldamento globale, gli altri temono invece che le risorse agricole necessarie per produrre energia con questo metodo pregiudichino ulteriormente la sicurezza alimentare, la sovranità alimentare e la biodiversità, specialmente nei Paesi in via di sviluppo e nei Paesi emergenti²⁷. La prospettiva di trovare soluzioni a problemi che affliggono anche i Paesi in via di sviluppo ed emergenti (ad es. il recupero di terreni contaminati impiegando organismi sintetici) non deve essere un motivo per giustificare una violazione di aspetti centrali della giustizia. Qualora fosse così, si dovrebbero cercare altre soluzioni.

Il divario tecnologico si accentua:

I critici temono che la biologia sintetica e le sue applicazioni accentuino ulteriormente il divario tra il sapere tecnologico dei Paesi industrializzati, dei Paesi emergenti e di quelli in via di sviluppo. Questa obiezione riguarda tutti gli ambiti del progresso tecnologico. In risposta a una simile situazione, la sovranità degli Stati impone che si aiutino i Paesi particolarmente svantaggiati ad acquisire le conoscenze specialistiche e il sapere di cui hanno bisogno e che, su richiesta di questi Paesi, venga promosso il trasferimento delle tecnologie. Ciò consentirebbe loro di utilizzare con cognizione di causa le nuove tecnologie e di indagare i rischi esistenti in ogni specifico contesto.

- 25 Cfr. CENU, «Ingegneria genetica e Paesi in via di sviluppo», Berna, 2004.
- 26 II rapporto dell'European Molecular Biology Organization (EMBO), vol. 10, n. 1, agosto 2009, SS. S1-S 53, affronta questioni sociali sollevate dalla biologia sintetica. Si veda http://www. nature.com/embor/journal/v10/n1s/index.html.
- 27 Al centro del dibattito pubblico vi sono attualmente progetti incentrati sulla produzione di energia a partire dallo zucchero: lo zucchero viene fatto fermentare usando cellule prodotte sinteticamente e viene trasformato in energia. Nel rapporto ETC «Commodifying Nature's Last Straw? Extreme Genetic Engineering and the Post Petroleum Sugar Economy» (2008) vengono analizzate e discusse con sguardo critico le conseguenze di queste attività sui Paesi emergenti e in via di sviluppo.



Tutela della proprietà intellettuale nel settore della biologia sintetica:

Anche in questo ambito, come già per i brevetti nel settore dell'ingegneria genetica, si devono verificare l'ammissibilità etica e le conseguenze dettagliate sul piano della tutela della proprietà intellettuale. Sulla questione, la CENU rimanda in particolare alle sue considerazioni contenute nel messaggio del 23 novembre 2005 relativo alla modifica della legge sui brevetti²⁸.

Conseguenze sul piano della politica economica e della politica della ricerca: Se uno Stato presta finanziamenti iniziali, sostenendo in questo modo istituti di ricerca statali o imprese private, e/o crea le condizioni strutturali per promuovere in particolare una tecnologia o le relative applicazioni, compie di fatto un intervento e prende decisioni provvisorie in un certo settore. Questi interventi influenzano il mercato. Per quanto ciò possa essere giustificato nel caso specifico, al momento della loro valutazione si deve comunque tener conto delle conseguenze di ogni decisione sugli altri tipi di approccio. Gli aiuti statali alle tecnologie che comportano un certo potenziale di rischio devono essere oggetto di un'attenta e opportuna valutazione dei rischi, anche di quelli a lungo termine.

7.3 Riflessioni sull'etica del rischio

I membri della Commissione ritengono che lo statuto morale dei microrganismi con cui opera attualmente la
biologia sintetica non sia in contrasto
con la loro natura sintetica. La maggioranza dei membri della Commissione
reputa inoltre che gli argomenti del
piano inclinato (slippery slope) siano,
per ora, privi di fondamento. Non rimane dunque altro che esaminare la
biologia sintetica dal profilo dell'etica
del rischio.

Anche il dibattito sui rischi della biologia sintetica rievoca per molti aspetti le fasi iniziali del dibattito sull'ingegneria genetica. In entrambi i casi, una delle obiezioni di fondo fa leva sul fatto che la biologia sintetica lavora con una materia che non conosce appieno e che quindi non può controllare. Lavorando con organismi viventi, la biologia sintetica deve misurarsi infatti con grandezze ignote (che non si possono conoscere di principio o che rimangono incomprensibili in ragione della loro complessità) e che proprio per il fatto di non essere note comportano un rischio elevato di danno per l'uomo e per l'ambiente. L'immagine del giovane mago²⁹ evocata dai sostenitori della biologia sintetica in una rivista scientifica non si discosta poi tanto dal paragone con l'apprendista stregone di Goethe, già evocata nell'ambito del dibattito sull'ingegneria genetica. L'apprendista stregone utilizza gli incantesimi del suo maestro senza conoscerne appieno le conseguenze. A differenza della storia di Goethe,

- 28 Messaggio relativo alla modifica della legge sui brevetti e al decreto federale concernente l'approvazione del Trattato sul diritto dei brevetti e del Regolamento di esecuzione del 23 novembre 2005, pagg. 16–18, pubblicato nel Foglio federale 2006 1. Si veda http://www.admin.ch/ch/i/ ff/2006/1.pdf.
- 29 http://www.nature.com/nature/comics/ syntheticbiologycomic/index.html.



sostengono i critici, nel caso della biologia sintetica il maestro stregone non rientra però in tempo per evitare il peggio. In risposta a questa critica vengono addotte argomentazioni già sollevate nel dibattito sull'ingegneria genetica, ovvero che i prodotti della biologia sintetica sono relativamente facili da assemblare. Il loro potenziale di rischio sarebbe dunque misurabile e gestibile. Essendo prodotti di laboratorio, dipenderebbero dalle condizioni ivi create e non potrebbero sopravvivere in un ambiente naturale esterno. Se questi organismi creati sinteticamente in laboratorio venissero poi rilasciati nell'ambiente, la loro pericolosità sarebbe ridotta poiché non riuscirebbero imporsi in un ecosistema naturale.

Secondo i membri della CENU, entrambi gli schieramenti esagerano. Non si può infatti né agire indiscriminatamente affidandosi alla speranza che non accada nulla di negativo nell'utilizzare con sostanze e organismi potenzialmente pericolosi, né d'altro canto vietare a priori qualsiasi attività a causa dei timori. Ciò che è chiaro è che ogni sviluppo tecnologico, sebbene basato su qualcosa di esistente e conosciuto, può talvolta generare qualcosa di nuovo. Inoltre, non si può pensare che il riferimento alle conoscenze già acquisite consenta di stimare le nuove conoscenze che si acquisiscono. Ci si dovrà sempre confrontare con le incertezze e, di conseguenza, con una tipica situazione di rischio.

La biologia sintetica apre alla ricerca e alle sue applicazioni nuove e ampie prospettive. Finora le applicazioni della biologia sintetica sono state concretizzate solo in maniera limitata e, nel frattempo, l'intero settore si sta sviluppando molto rapidamente. Allo stato attuale, la biologia sintetica è fatta soprattutto di visioni, incertezze e incognite. Mancano dati concreti sull'analisi dei rischi e, quindi, la relativa valutazione avviene unicamente per approssimazione. La CENU si limita dunque soprattutto a discutere le singole tappe che devono essere previste in una situazione di rischio, e analizzare solo marginalmente gli esempi concreti al centro del dibattito pubblico.

Nella gestione dei rischi vanno distinte da un lato la caratterizzazione e l'analisi dei rischi e dall'altro la loro valutazione. La questione degli obblighi di diligenza ha rilevanza sul piano dell'analisi e della valutazione dei rischi³⁰. Le riflessioni che seguono, in parte molto generiche, spiegano come procedere nelle situazioni di rischio. È probabile che ai più suoneranno note e scontate. Tuttavia, l'esperienza maturata soprattutto nella valutazione di progetti che prevedono l'utilizzazione nell'ambiente di organismi geneticamente modificati mostra che è opportuno riconsiderare sempre con attenzione le esigenze poste dalle situazioni di rischio.

30 Sulla gestione dei rischi si vedano anche le disposizioni riguardanti l'ingegneria genetica nel settore non umano contenute nella legge federale sull'ingegneria genetica nel settore non umano (legge sull'ingegneria genetica, LIG) del 21 marzo 2003, RS 814.91.



7.3.1 Caratterizzazione e analisi corretta dei rischi

L'analisi dei rischi concerne le scienze empiriche e consente di determinare la probabilità di occorrenza e l'entità delle conseguenze delle azioni. L'analisi dei rischi si fonda su considerazioni probabilistiche e non su valutazioni. Per garantire la correttezza dell'analisi dei rischi è indispensabile che la caratterizzazione dei rischi avvenga in maniera oggettiva.

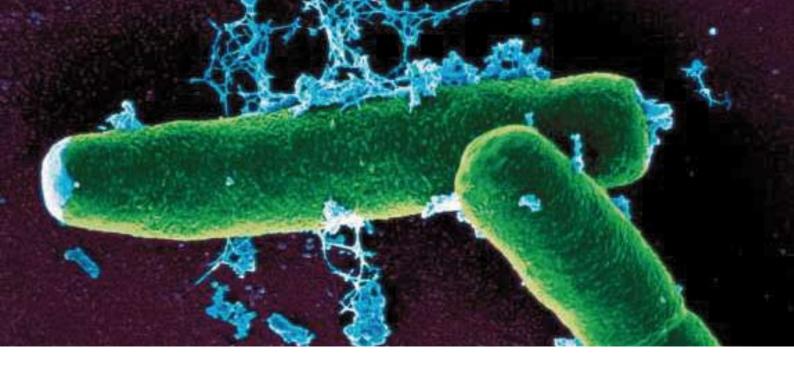
Nella biologia sintetica, come nelle biotecnologie, si distingue tra rischi di biosafety e rischi di biosecurity31. I rischi di biosafety comprendono tutti i rischi per l'uomo e l'ambiente che sorgono inavvertitamente, quando si utilizzano organismi sintetici in maniera di per sé lecita. Questi rischi possono insorgere in fase di manipolazione degli organismi in sistemi chiusi (laboratori). Occorre in questi casi prestare attenzione ai rischi correlati alla ricerca e alla fabbricazione di organismi sintetici. Hanno rilevanza centrale i rischi per la salute dei ricercatori e dei collaboratori. D'altro canto, esistono e devono essere determinati anche i rischi per l'uomo e l'ambiente che insorgono nonostante il rispetto di tutte le misure di sicurezza, ad esempio per la fuoriuscita accidentale di un organismo dal laboratorio. In una fase successiva dello sviluppo della biologia sintetica occorrerà analizzare anche i rischi correlati alle sperimentazioni intenzionali e, più tardi ancora, alle emissioni commerciali di organismi prodotti sinteticamente. In tutti questi casi si tratta di rischi che vanno

determinati *ex ante*, vale a dire prima di un'azione, affinché si possano calcolare le probabilità di insorgenza.

I rischi legati alla biosecurity sono

quelli che derivano dall'utilizzazione indebita o inopportuna, e dunque illecita, di questi organismi. Un esempio di rischio correlato all'utilizzazione illecita è costituito dal trasporto indebito di detti organismi da parte di singoli individui, per esempio nel caso in cui un ricercatore cambia laboratorio e porta con sé gli organismi senza la necessaria autorizzazione. Sono considerati rischi di biosecurity tutti i rischi derivanti dalla gestione non professionale di un laboratorio (i cosiddetti laboratori da garage). Questi abusi sono talvolta associati al concetto di bioterrorismo e talvolta evocati in relazione al dual use. Il termine dual use è usato in riferimento alle tecnologie che possono essere impiegate per scopi civili, militari o terroristici. La biologia sintetica permette, con mezzi relativamente semplici, di sviluppare virus o batteri pericolosi. Questa prospettiva desta preoccupazioni, poiché si teme che comporti un aumento dei rischi di abuso. Nel 2002, alcuni ricercatori negli Stati Uniti hanno riprodotto in laboratorio il virus della poliomelite utilizzando sequenze di DNA in vendita sul mercato e fabbricate per fini commerciali. Nel 2005, un altro gruppo di ricercatori sempre negli Stati Uniti ha sintetizzato il virus della spagnola, ormai estinto. Le strutture organizzative di questi virus sono state rese pubbliche e, di conseguenza, sono ora accessibili a tutti. Questi esempi mostrano che i timori di abusi

31 In merito si veda anche J. Boldt et al., Synthetische Biologie, 2009, pag. 65 ss.



sono fondati, sebbene per il momento rimanga comunque più facile ricavare per via naturale organismi altamente patogeni e, quindi, estremamente pericolosi per l'uomo e l'ambiente. Con lo sviluppo tecnico delle apparecchiature e la conseguente maggiore commercializzazione delle sequenze di DNA sarà tuttavia sempre più facile superare anche gli ostacoli finanziari e tecnici che costituiscono un freno agli abusi.

Dato che nelle situazioni di rischio i dati sono caratterizzati da incognite e incertezze, è necessario tener conto anche delle ipotesi che differiscono dall'opinione della maggioranza, purché plausibili. Devono poi essere evidenziate le lacune conoscitive che limitano l'analisi dei rischi. Una critica generale ricorrente alla caratterizzazione e all'analisi dei rischi di progetti afferenti alla biologia sintetica si riallaccia all'idea che l'individuazione dei possibili rischi viene limitata dalla visione semplificativa dell'approccio tecnocratico. Varrebbe la pena capire se e in che misura ciò rappresenti un atteggiamento e un approccio riduttivi e, di conseguenza, se ne risulti una caratterizzazione dei rischi inadeguata.

Per approfondimenti sul tema della caratterizzazione e dell'analisi dei rischi si rimanda alla Commissione federale per la sicurezza biologica (CFSB) e alle autorità competenti in materia.

7.3.2 Valutazione dei rischi

L'analisi dei rischi, che è un processo descrittivo, va distinta dalla valutazione dei rischi, che è invece un processo normativo. La valutazione dei rischi si fonda sullo stato delle cose come indicato dai dati raccolti, nella piena consapevolezza che detto stato è soggetto a continui cambiamenti. La valutazione dei rischi consiste in una ponderazione delle conseguenze pronosticate ma anche delle lacune conoscitive da colmare. Essa giudica le probabilità e gli scenari di danno determinati e stabilisce se e in che misura sia necessario agire. In una società democratica la necessità di intervenire è data dal fatto che è la società stessa a decidere quali probabilità e quali danni siano da ritenere tollerabili e di conseguenza accettabili.

Ai fini della ponderazione delle constatazioni risultanti dall'analisi dei rischi e ai fini dell'accettabilità dei rischi ha rilevanza anche l'esistenza eventuale di alternative al procedimento considerato e, se del caso, quali siano queste alternative. L'esistenza di alternative assume rilevanza ai fini della ponderazione per il fatto che si è più disposti a correre rischi maggiori se lo scopo perseguito è la risoluzione di un problema urgente (ad es. il soddisfacimento di bisogni primari) e se non esistono altre possibilità meno rischiose. Si distinguono tre livelli di alternative:



- alternative all'oggetto cui è applicata la tecnologia, ad esempio batteri che producono idrogeno in alternativa alle alghe ottenute sinteticamente quale sistema di produzione energetica;
- alternative al metodo, ad esempio altre tecnologie per produrre energia a partire da risorse rinnovabili (energia solare, eolica ecc.);
- 3. alternative *all'obiettivo prefissato,* ad esempio tecnologie che riducono il consumo di energia.

7.3.3 Obblighi di diligenza

Gli obblighi di diligenza hanno due funzioni. Per prima cosa esigono che chi opera sia consapevole – alla luce delle conoscenze acquisite – delle possibili conseguenze delle proprie azioni e dei potenziali danni che potrebbero causare. È dunque responsabile di tutto ciò che avrebbe dovuto prevedere sulla base delle sue conoscenze. Detto in altre parole, deve anticipare le possibili conseguenze e i potenziali danni. Non si può invece imputare l'imprevedibile.

In secondo luogo, gli obblighi di diligenza impongono a chi opera di adottare tutte le misure precauzionali necessarie per evitare che si verifichi il danno previsto. In che misura tale esigenza debba essere soddisfatta dipende da due parametri: la probabilità di occorrenza di un danno e la sua entità. Tanto maggiore è la probabilità di occorrenza e tanto più elevato è il danno, tanto più urgente è l'esigenza di soddisfare gli obblighi di diligenza. Occorre fare il possibile affinché il danno non si verifichi e, qualora si verificasse, che se ne limiti al massimo l'entità.

Questo secondo livello degli obblighi di diligenza influenza la valutazione dei rischi. Tra le misure che sono state vagliate e in parte adottate anche in altri settori tecnologici allo scopo di ridurre la probabilità di occorrenza e l'entità dei danni vi sono i programmi di monitoraggio sistematico. Questi programmi consentono di individuare il più tempestivamente possibile eventuali effetti dannosi sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. Un altro



provvedimento introduce l'obbligo di seguire un metodo graduale in cui si procede a tappe, iniziando con gli esperimenti di laboratorio a diversi livelli di sicurezza, passando agli esperimenti in ambiente circoscritto e limitato fino alla commercializzazione degli organismi. Questo approccio è motivato dalla consapevolezza che le conoscenze essenziali per una valutazione adeguata dei rischi nelle nuove tecnologie devono essere acquisite un passo per volta. Se mancano i dati di analisi dei rischi necessari per compiere il passaggio successivo non si possono calcolare le probabilità d'insorgenza di un danno. Senza questo calcolo delle probabilità non si può procedere a una valutazione dei rischi, e senza una valutazione dei rischi non si può prendere una decisione razionale sulle mosse successive. In questo caso è dunque inaccettabile compiere un ulteriore passaggio esponendosi a rischi ignoti.

7.3.4 Conclusioni sull'utilizzazione di organismi fabbricati sinteticamente dal profilo dell'etica del rischio

Secondo la CENU esistono scenari di rischio plausibili, ma i dati empirici sulle proprietà degli organismi fabbricati sinteticamente sono insufficienti per poter svolgere una valutazione obiettiva dei rischi. Da un punto di vista di etica del rischio, alla luce dei dati disponibili si impone particolare prudenza nell'utilizzare organismi prodotti sinteticamente. Va qui applicato il principio di prevenzione. Finché non si disporrà di tutti i dati empirici necessari per una valutazione opportuna dei rischi correlati alle emissioni sperimentali, gli organismi fabbricati sinteticamente potranno essere utilizzati esclusivamente in sistemi chiusi e conformemente al principio della gradualità, rispettando le misure precauzionali specifiche a salvaguardia dell'organismo.

In assenza di dati non è possibile, per ora, stabilire se le normative specifiche attualmente in vigore per l'utilizzazione di organismi geneticamente modificati siano adeguate anche per l'utilizzazione di organismi fabbricati sinteticamente.



8 Riepilogo

Nel rapporto elaborato, la CENU esamina i diversi obiettivi e metodi della biologia sintetica, in particolare la sua aspirazione a costruire in maniera controllata nuove forme di vita partendo dai cosiddetti biobrick. Lo scopo di questa analisi è capire se siano eticamente sostenibili. Nella prima parte del rapporto l'attenzione della Commissione è volta a chiarire da un lato che cosa sia il prodotto della biologia sintetica e, dall'altro, se e in che misura esiste un obbligo etico nei confronti di questi prodotti contrario alle applicazioni della biologia sintetica. La seconda parte del rapporto approfondisce le questioni inerenti all'etica della responsabilità.

Il rapporto illustra come la risposta alla domanda se in linea di principio sia possibile costruire organismi viventi in maniera controllata dipenda dall'interpretazione che si dà al concetto di vita su cui si fonda la valutazione. Vengono chiarite diverse posizioni ontologiche di fondo. La maggioranza dei membri della Commissione appoggia una concezione monistica della vita, secondo la quale ciò che definiamo vita altro non è che un insieme di caratteristiche

puramente fisico-chimiche di organismi viventi. Le altre posizioni, vale a dire quella vitalistica e quella dualistica, ma anche quella scettica, trovano sostegno soltanto in una minoranza dei membri. Nel loro insieme, le posizioni ontologiche non escludono tuttavia la possibilità che la visione della biologia sintetica possa rivelarsi fruttuosa, dando origine con i suoi metodi a nuove forme di vita.

Benché alcuni progetti a lungo termine della biologia sintetica contemplino la fabbricazione di tutti i tipi di organismi viventi, attualmente l'attenzione è rivolta ai microrganismi, che sono il punto di partenza o il prodotto da sintetizzare. La questione del valore morale dei microrganismi deve essere chiarita nel quadro dell'articolo 120 della Costituzione federale della Confederazione svizzera, che sancisse l'obbligo di tener conto della dignità della creatura nell'impiego di animali, piante e altri organismi. Il modo in cui si originano gli organismi viventi, vale a dire artificialmente o in maniera naturale, non ha secondo la CENU nessuna influenza sul loro statuto morale. Che i microrganismi dispongano di



una caratteristica definita come valore morale o «dignità», che, in quanto tale, li rende degni di considerazione morale dipende dalle posizioni etiche ambientali che si adottano. La maggioranza dei membri della Commissione sostiene un approccio biocentrico, che attribuisce ai microrganismi un valore morale in quanto esseri viventi. Una minoranza crede in un approccio patocentrico, che esclude i microrganismi dalla categoria degli esseri degni di considerazione morale in quanto tali per la mancanza di indizi avvaloranti l'idea che i microrganismi sono in grado di percepire in qualche modo come pregiudizievole un danno. Un'altra minoranza si identifica in un approccio antropologico-relazionale, secondo cui i microrganismi meritano considerazione morale in ragione del loro rapporto con l'uomo. Quando si viene a una ponderazione degli interessi, però, dovendo operare una valutazione gerarchica, anche i membri che riconoscono ai microrganismi un valore morale attribuiscono a quest'ultimo un peso trascurabile. In pratica, dunque, tutti i membri della Commissione non vedono obiezioni di carattere etico ai progetti che utilizzano microrganismi.

Le differenze tra le diverse posizioni ontologiche che trovano credito in seno alla CENU vengono alla luce nel diverso modo di concepire la controllabilità del processo e dei prodotti della biologia sintetica. Queste divergenze influenzano il modo di trattare le questioni di etica della responsabilità. Nel dibattito pubblico che ha come oggetto la biologia sintetica vengono addotte argomentazioni del

piano inclinato. I membri della Commissione sono concordi nell'affermare che dette argomentazioni forniscono il giusto pretesto per tematizzare preventivamente eventuali possibili conseguenze, così da poterle monitorare. Tuttavia, ritengono che sulla base dei timori fin qui espressi non vi siano, almeno per ora, gli estremi per imporre un veto ai progetti di biologia sintetica.

Come per tutte le altre tecnologie e le relative applicazioni, anche per la biologia sintetica si impongono un'analisi e una valutazione che tengano conto di tutte le dimensioni della giustizia. Va inoltre esaminata la prospettiva dell'etica del rischio. La CENU constata che la biologia sintetica apre nuovi ampi orizzonti al settore della ricerca e delle relative applicazioni. Per il momento tuttavia, nonostante i rapidissimi sviluppi dell'intero settore, le applicazioni concrete rimangono ancora limitate. Dominano le ambizioni visionarie, le incertezze e le incognite: in poche parole, ci si trova di fronte a una tipica situazione di rischio. Secondo la CENU esistono scenari di rischio plausibili, ma mancano dati empirici sufficienti per poterne valutare i rischi. Per questo motivo, nel presente rapporto la CENU si limita in sostanza a ripercorrere il procedimento che si impone eticamente nelle situazioni di rischio (e al quale in altri settori tecnologici è già stato dato fondamento giuridico). Trova qui applicazione il principio di precauzione. In conformità al principio della gradualità, le attività in questo campo sono consentite a patto che si adottino speciali misure precauzionali

a salvaguardia dell'organismo. Mancando i dati necessari, la CENU giunge alla conclusione che, per il momento, non è possibile stabilire se le normative vigenti che disciplinano l'impiego di organismi geneticamente modificati siano adeguate e dunque applicabili anche all'utilizzo di organismi fabbricati sinteticamente.



9 Bibliografia

BAERTSCHI, BERNARD: La vie artificielle – Le statut moral des êtres vivants artificiels, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, vol. 6, edito dalla CENU, Berna, 2009.

BENNER, STEVEN A.: Synthetic biology: Act natural. In: Nature. vol. 421, 9 gennaio 2003, pag. 118 (citazione secondo A. Brenner, Leben, 2007, pag. 158).

BOLDT, JOACHIM/OLIVER MÜLLER/ GIOVANNI MAIO: Synthetische Biologie – Eine ethisch-philosophische Analyse, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, vol. 5, edito dalla CENU, Berna, 2009.

BRENNER, ANDREAS: Leben – Eine philosophische Untersuchung, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, vol. 3, edito dalla CENU, Berna, 2007.

CENU: Ingegneria genetica e Paesi in via di sviluppo, Berna, 2004.

COSTITUZIONE FEDERALE della Confederazione elvetica del 18 aprile 1999, RS 101, art. 120, Ingegneria genetica in ambito non umano.

ECKHARDT, ANNE: Synthetische Biologie.
Organisation und Ziele, Rapporto commissionato dalla CENU, 2008.

ETC: Commodifying Nature's Last Straw? Extreme Genetic Engineering and the Post Petroleum Sugar Economy, 2008.

KUTSCHERA, FRANZ VON: Jenseits des Materialismus, mentis, Paderborn, 2003.

LEGGE SULL'INGEGNERIA GENETICA (LIG) Legge federale sull'ingegneria genetica nel settore non umano del 21 marzo 2003, RS 814.91.

MESSAGGIO relativo alla modifica della legge sui brevetti e al decreto federale concernente l'approvazione del Trattato sul diritto dei brevetti e del Regolamento di esecuzione del 23 novembre 2005, pag. 18–20, pubblicato in: Foglio federale 2006 1 (www.admin.ch/ch/i/ff/2006/1.pdf).

RAPPORTO EMBO: vol. 10, n. S1, agosto 2009, S1–S53 (www.nature.com/embor/journal/v10/n1s/index.html).

SZOSTAK, JACK W./DAVID P. BARTEL/ PIER LUIGI LUISI: Synthesizing life. In: Nature: vol. 409, 18 gennaio 2001, pag. 387 (citazione secondo A. Brenner, Leben, 2007, pag. 156).

Fonti Internet

(ultima consultazione il 6 aprile 2010)

http://sb4.biobricks.org/field

http://syntheticbiology.org

www.ethz.ch/news/ethupdate/2007/ 070619_1/index

www.nature.com/nature/comics/ syntheticbiologycomic/index.html

www.synbiosafe.eu/index.php?page= other-sb-projects

www.tessy-europe.eu/public/_docs/TESSY-final-Report_D5-3.pdf

Immagini:

Bild: Bakterien, © Sebastian Kaulitzki Beugungsbild eines Biomoleküls, Pagina 3 Max-Planck-Arbeitsgruppen für Strukturelle Molekularbiologie Pagina 4 Sinistra: Staphylococcus aureus, Janssen-Cilag Destra: Mycoplasma mycoides bacterium, J. Craig Venter Institute Pagina 5 Sinistra: DNA double helix, © The University of Waikato Destra: Laborproben, Jürgen Haacks, Uni Kiel Pagina 6 Sinistra: DNA-Chip. Flad & Flad Communication GmbH Destra: Forschung, Janssen-Cilag Pagina 7 Agent release module, © bioss – Center for Biological Signalling Studies Pagina 8 Escherichia-coli, Janssen-Cilag Pagina 9 Sinistra: Anophelesmuecke, Birgit Betzelt/action medeor Destra: Artemisisin, Birgit Betzelt/action medeor Pagina 10 Streptococcus pyogenes, © S. Lowry, University of Ulster Pagina 11 Sinistra: Forschung, Janssen-Cilag Destra: Aral Forschung, Deutsche BP AG Pagina 12 Forschung, Janssen-Cilag Pagina 13 Phytoplankton bloom, © NASA

Copertina Elaborazione grafica: Atelier Bundi,

Pagina 14 Sinistra: Stoffwechsel, Janssen-Cilag Destra: Shewanella sp. University of California, Riverside Pagina 15 Pseudomonas-aeruginosa, Janssen-Cilag Pagina 16 Microbiological agrar plate, © Claudia Disqué, Ph. D. Pagina 17 Mikroorganismen, Wilhelm Foissner, Andreas Zankl, University of Salzburg, Austria Pagina 18 Mikroorganismen, © vangorpreunion, Picasa Pagina 19 Mitose, IMP Pagina 20 Computer, Digital Media Lab, KAIST Pagina 21 Second generation biofuel from algae oil, Global Energy Pagina 22 Forschung, Janssen-Cilag Pagina 23 Sinistra: Laborproben, Jürgen Haacks, Uni Kiel Destra: Hautbakterien, Bill Branson, NIH Pagina 24 Anti anthrax pesticide, Stanford University Pagina 25 Bacillus anthracis, Oregon State University Seite 26 Algenproduktionsanlage, Jülich Forschungszentrum Pagina 27 Labor, Microtest Laboratories Pagina 28 Acinetobacter, Janssen-Cilag

Pagina 29 Bakterie, Indiana University

Pagina 30 Bacteria on Culture, Bill Branson, NIH

Maggio 2010

Editore: Commissione federale d'etica per la biotecnologia nel settore non umano CENU

Redazione: Ariane Willemsen, segretaria della CENU c/o Ufficio federale dell'ambiente UFAM CH-3003 Berna tel. +41 (0)31 323 83 83 fax +41 (0)31 323 03 69

Traduzione: Chiara Francese-Marinolli, in collaborazione con il Servizio linguistico italiano dell'Uffi-

cio federale dell'ambiente (UFAM)

ekah@bafu.admin.ch

Grafica e layout: Atelier Bundi AG, Boll

La versione cartacea del presente rapporto è disponibile in lingua francese, tedesca e inglese.

Riproduzione autorizzata con indicazione della fonte. I diritti di riproduzione delle immagini devono essere richiesti separatamente.

