

CELLULE SINTETICHE E LA CREAZIONE DELLA VITA: PROGRESSI SCIENTIFICI, LIMITI BIOLOGICI E SFIDE BIOETICHE

<https://bioethicsobservatory.org/2026/07/synthetic-cells-and-the-creation-of-life-scientific-advances-biological-limits-and-bioethical-challenges/48945/>

Bioetics Observatory Pubblicato il 31 luglio 2026

È possibile creare vita in un laboratorio? I progressi più recenti nella biologia sintetica hanno reso possibile sviluppare cellule artificiali con alcune delle funzioni tipiche degli organismi viventi, riaccendendo il dibattito sui confini tra naturale e progettato. Questo articolo analizza la reale portata scientifica di questi risultati, le loro potenziali applicazioni e le importanti questioni bioetiche che sollevano sulla natura della vita e della responsabilità umana.

Qualche anno fa, nel mio libro *Exploring Genes. Dal Big Bang alla Nuova Biologia*,¹ riflettevo sul fenomeno della "vita". Data la difficoltà nel definire questo concetto fondamentale in biologia, ho proposto che, come hanno fatto i fisici con il concetto di "energia", il miglior approccio sia descriverne le proprietà—in altre parole, identificare cosa caratterizza la vita e cosa la distingue dagli oggetti inanimati. Tuttavia, interrogarsi su qualcosa di così generale come la vita significa specificare ciò che si vuole sapere, poiché la definizione di vita include aspetti filosofici, metafisici, biologici e teologici, che non sono sempre complementari. Nella scienza, tutto ciò che manca di materia non può essere affrontato sperimentalmente. Così, invece di chiedersi "Cos'è la vita?", la biologia cerca di rispondere alla domanda "Come funziona la vita?"

In particolare, tra le varie discipline della biologia, quella che meglio spiega il fenomeno della vita è la genetica, poiché il suo studio si concentra sulle due proprietà comuni a tutti gli organismi viventi ma assenti negli esseri inanimati: la capacità di riprodursi e la capacità di evolversi nel corso delle generazioni. Le prime cellule emersero sulla Terra circa 3,8 miliardi di anni fa possedevano già sia la capacità di trasmettere informazioni alla loro prole, tramite "ereditarietà" tramite la riproduzione, sia la capacità di creare "variazione" nelle generazioni tramite meccanismi di ricombinazione e mutazione, che determinano la diversificazione degli organismi viventi. Queste proprietà possono essere spiegate formalmente dal comportamento e dalle caratteristiche delle molecole di acido nucleico, a cui è attribuito il ruolo centrale della vita. Il DNA è spesso definito come la "molecola della vita" perché è presente in tutti gli organismi viventi (ad eccezione di alcuni virus che possiedono RNA). È anche responsabile delle informazioni da cui dipendono le caratteristiche di ogni organismo vivente, così come della sua trasmissione da cellula a cellula, dai genitori alla prole, da una popolazione all'altra e da una specie all'altra attraverso le generazioni. Sono le molecole che spiegano sia l'identità biologica di ogni organismo vivente sia la biodiversità.

Il medico e biologo **belga Christian de Duve** (1917-2013), vincitore del Premio Nobel per la Medicina nel 1974 per i suoi contributi alla comprensione della struttura e dell'organizzazione funzionale delle cellule, affermò che "*La vita è ciò che è comune a tutti gli esseri viventi*", sottolineando il ruolo degli acidi nucleici, che si collocano in cima alla gerarchia informativa che rende possibile la vita.² Inoltre, il grande evoluzionista **britannico John Maynard-Smith** (1920-2004) affermò che "*Le entità sono vive se possiedono le proprietà necessarie per evolversi tramite Selezione Naturale. In altre parole, se possono moltiplicarsi, se possiedono un meccanismo per garantire la continuità del carattere e se possono variare*".³

La conoscenza delle proprietà degli organismi viventi e dei loro componenti materiali è stata stabilita nella prima metà del XX secolo e ha guidato l'"ingegneria genetica" dagli anni '70.

Questo rappresenta un capitolo importante nella cosiddetta "**Biologia Sintese**", definita dalla Royal Academy of Engineering del Regno Unito come *"un campo che mira a progettare e ingegnerizzare parti basate sulla biologia, dispositivi innovativi e nuovi sistemi, oltre a riprogettare sistemi biologici naturali esistenti"*.

In breve, consiste nella modifica degli organismi viventi per vari scopi, che vanno dalla semplice curiosità per comprenderne meglio le proprietà fino al loro sfruttamento per applicazioni pratiche. All'interno di questo campo, esistono approcci che vanno oltre la modifica di geni o componenti di organismi esistenti. Una di queste applicazioni consiste nel progettare nuovi sistemi biologici utilizzando un approccio "bottom-up", inclusa la produzione di cellule artificiali combinando da zero i loro elementi molecolari costitutivi per creare sistemi che non esistono in natura.

La creazione di cellule sintetiche

Lo scopo della biologia sintetica è sintetizzare, riscrivere o ricodificare geni, genomi e persino—più retoricamente che realisticamente—nuove cellule e specie. Una delle principali forze trainanti dietro il Progetto Genoma Umano, il compianto **Craig Venter** (1946-2026), propose l'idea di determinare il contenuto di un "genoma minimo", cioè l'informazione minima necessaria per sostenere la vita in un organismo unicellulare, che sarebbe necessariamente il più semplice e meno impegnativo in termini di adattamento. La sintesi artificiale di questo genoma conterrebbe un insieme di geni che soddisferebbero collettivamente tutti i requisiti per il mantenimento e la riproduzione della cellula che lo contiene in un determinato ambiente. Nel 1999, in un articolo su *Science*, Venter affermava: *"Cos'è la vita? Non credo ci siano molti biologi che cercano di rispondere a questa domanda... Noi... lavorando su una visione riduzionista del cercare di prendere il genoma più piccolo che abbiamo... e vediamo se non riusciamo a capire come quelli... [i geni] lavorano insieme per creare la vita"*.^{Questo} segnò l'inizio degli sforzi per sintetizzare un'entità biologica in laboratorio.

Per raggiungere questo obiettivo, Venter ha effettuato un'analisi genomica comparativa dei genomi di varie specie di *Mycoplasma*, poiché sono tra i microrganismi più semplici conosciuti. Questo comportava l'identificazione di geni condivisi e unici e la determinazione delle informazioni cruciali per progettare un genoma sintetico minimale in laboratorio. L'obiettivo è stato raggiunto con un approccio "bottom-up", unendo frammenti di DNA sintetizzati base per base e assemblati come un puzzle.

A metà del 2010, i media hanno riportato in modo sensazionale che il team di Venter aveva ottenuto nel loro laboratorio una "cellula batterica sintetica autoreplicante", celebrandola con forza come la creazione di una "vita sintetica".⁵ In realtà, non si trattava né della sintesi di una cellula vivente né di un organismo vivente in laboratorio; piuttosto, consisteva nell'introduzione di un genoma sintetico che modellava il genoma del batterio *Mycoplasma mycoides* in una cellula esistente di una specie correlata, *Mycoplasma capricolum*, il cui genoma naturale era stato precedentemente rimosso. Sebbene fosse un'impresa tecnologica, non costituiva la creazione della vita in laboratorio, come disse esplicitamente Venter, ma consisteva piuttosto nel copiare e ricreare qualcosa che già esisteva in natura, il che di per sé è un risultato scientifico notevole.

Il Craig Venter Institute, che inizialmente si concentrava su informazioni genetiche minime, ha fornito gli strumenti per alterare, ricostruire, indagare e identificare geni essenziali. Il "genoma minimo" basato su *Mycoplasma*, designato come ceppo JCVI-syn1.0, conteneva una combinazione di geni 901. Questi sono stati poi progressivamente eliminati, ottenendo infine il ceppo JCVI-syn3.0 con soli 473 geni. Si tratta di un genoma sintetico più piccolo di quello di qualsiasi organismo libero di vita. Sebbene la funzione di molti dei geni essenziali contenuti in questi ceppi sintetici fosse sconosciuta, il genoma sintetico svolgeva tutte le funzioni essenziali richieste dalle cellule in cui era stato inserito, permettendo loro di crescere e dividersi nel mezzo di coltura artificiale. I ceppi di micoplasma artificiale JCVI-

syn1.0 e JCVI-syn3.0 avrebbero gettato le basi per comprendere processi essenziali ampiamente conservati nella vita cellulare, e hanno servito a guidare nuovi approcci utili nella creazione di cellule sintetiche.⁷

Questi studi sono guidati da molteplici interessi. In sostanza, mirano a creare genomi artificiali con una funzione specifica per ottenere organismi sintetici capaci di produrre proteine di interesse industriale o farmacologico che possano essere facilmente coltivate nei bioreattori. Numerosi farmaci commercialmente disponibili come insulina, interferone, eritropoietina, fattori di coagulazione, fattori di crescita, ecc., sono ora prodotti in modo efficiente ed economico nei batteri geneticamente modificati utilizzando tecniche transgeniche. Tuttavia, l'idea di creare cellule sintetiche va ancora oltre, mirando a produrre cellule con un genoma progettato che permetta ai ricercatori di testare la capacità di imitare la natura, ampliare le conoscenze e incorporare nuove funzioni con applicazioni pratiche. Questo approccio bottom-up della biologia sintetica è fondamentalmente diverso dall'approccio top-down della transgenesi, in cui l'obiettivo è modificare le cellule degli organismi esistenti aggiungendo o rimuovendo elementi come geni o altri componenti cellulari.

Da quando questi esperimenti iniziali sono stati condotti, sono stati fatti diversi tentativi per produrre cellule progettate da zero, con proprietà simili a quelle delle cellule naturali. A tal fine, i biologi sintetici stanno cercando di combinare genomi sintetici con conoscenze biochimiche sulla funzione cellulare e sui vari materiali di cui sono composte le cellule. Le numerose strategie e materiali sviluppati negli ultimi decenni hanno permesso ai ricercatori di progettare organelli sintetici per arricchire le funzioni e i comportamenti essenziali delle loro cellule artificiali. I ricercatori hanno concentrato la loro attenzione principalmente sulle informazioni genetiche, la compartimentazione, l'approvvigionamento energetico, la replicazione del DNA e la divisione cellulare. Alcuni esempi notevoli sono le cellule sintetiche che possono generare ATP dall'energia luminosa, sostenere l'attività metabolica tramite reti enzimatiche, replicare geni e—forse il più difficile di tutti—subire crescita e divisione cellulare.⁷

L'ultima scoperta: SpudCell

Il 2 luglio, vari media e testate scientifiche hanno annunciato la produzione di una nuova forma di cellula sintetica, che i suoi sviluppatori hanno chiamato "**SpudCell**". Si tratta di un tipo di cellula artificiale sviluppata da zero dalla biologa sintetica Kate Adamala e dal suo team di ricerca presso l'Università del Minnesota. Per raggiungere questo risultato, hanno combinato sostanze chimiche inerti e incapsulato un genoma minimo suddiviso in sette plasmidi all'interno di una membrana degli acidi grassi (bistrato lipidico).

Il genoma del DNA di questo sistema cellulare contiene solo 90.000 coppie di basi, corrispondenti a soli 36 geni, il che significa essenzialmente che manca di informazioni sufficienti per essere paragonabile a quelle di qualsiasi cellula vivente naturale. Ricorda che un semplice batterio come *Escherichia coli* ha circa 4,6 milioni di coppie di basi e circa 4.400 geni, e che il genoma umano contiene circa 3,1 miliardi di coppie di basi e circa 21.000 geni.

A differenza dei tentativi precedenti, SpudCell non inizia con la sostituzione dei componenti delle cellule naturali. Piuttosto, è costruito da zero, pezzo dopo pezzo, combinando composti chimici non viventi con elementi strutturali e funzionali per produrre un'entità sintetica simile a una cellula, capace di crescere, riprodursi e trasmettere il proprio materiale genetico nel corso di poche generazioni.

SpudCell è in grado di replicare il proprio DNA, crescere e dividersi. Per crescere, sono stati forniti tag molecolari sulla sua superficie che possono assorbire piccole vescicole cariche di nutrienti e altri elementi necessari a sostenere l'attività cellulare. Manca di un citoscheletro, quindi la divisione cellulare si ottiene aggiungendo un tag chiamato FLAG,

che interagisce con una proteina esterna, causando la restrizione della cellula. Questo non garantisce la distribuzione completa delle repliche dei sette plasmidi che compongono il genoma.

SpudCell non è in grado di sviluppare l'intero insieme delle funzioni molecolari delle cellule naturali e non può sintetizzare ribosomi, che sono gli organelli citoplasmatici su cui avviene la sintesi proteica. Per questo motivo, non sintetizza né proteine strutturali né gli enzimi necessari al suo metabolismo, che devono essere forniti esternamente. Pertanto, può subire divisioni solo per 5-10 generazioni.

Le limitazioni della sintesi proteica e la mancanza di un meccanismo efficiente per mantenere copie del genoma nelle cellule figlie, così come la dipendenza dall'aggiunta di molti componenti esterni, significano che, in realtà, si tratta di un prodotto molto lontano da una vera cellula naturale. I ricercatori che hanno prodotto queste cellule artificiali stanno lavorando a una nuova versione che supera questi vincoli.

Il manoscritto iniziale di questo lavoro non è stato accettato sulla rivista *Cell* e non è stato sottoposto a revisione paritaria. I ricercatori l'hanno inviata per la diffusione sulla piattaforma di pre-pubblicazione *di Biotic* ed è stata annunciata come notizia da *Science* e dal *New York Times*.

SpudCell è l'approssimazione più vicina all'obiettivo della biologia sintetica di creare cellule artificiali. Tuttavia, in base a quanto fatto finora, queste cellule artificiali non possono essere descritte come organismi viventi, poiché la loro indipendenza riproduttiva non è garantita, né possiedono la capacità evolutiva, entrambe proprietà specifiche della vita. Tuttavia, questo lavoro funge da prova di concetto per migliorare la nostra comprensione di numerosi aspetti funzionali e strutturali delle cellule naturali.

Aspetti bioetici

La biologia sintetica passa dalla ricerca di innovazioni senza obiettivi chiaramente definiti, guidata dal semplice fatto di vedere gli effetti della creazione di qualcosa che non esiste in natura, ad applicazioni pratiche che, se usate correttamente, beneficiano la salute, l'agricoltura, il bestiame e l'industria e, dove opportuno, contribuiscono a far avanzare la conoscenza. Pertanto, qualsiasi valutazione etica del tentativo di creare vita artificiale deve basarsi sul rispetto della natura, sulla conservazione dell'ambiente e delle risorse naturali e sulla dignità della vita umana.

In conformità con il principio di precauzione e i principi di responsabilità e giustizia—che devono considerare tutte le pratiche nella biologia sintetica—ci sono tre aspetti particolari che devono essere considerati in relazione alla creazione di cellule artificiali.

Innanzitutto, bisogna considerare cosa motivi questo tipo di iniziativa. Non è forse creare vita in laboratorio una forma di giocare a fare Dio? Creare cellule artificiali è come creare vita da materia inorganica non vivente. Da una prospettiva religiosa, questo ruolo corrisponde a Dio, ma ora, grazie alle loro capacità tecnologiche e intellettuali, gli esseri umani possono credere di elevarsi a una condizione superiore o addirittura illimitata. Tuttavia, al massimo, questo rende l'uomo un imitatore di qualcosa che rimane un mistero. Sono stati fatti progressi nella comprensione di cosa sia la vita, ma la domanda fondamentale sul perché esista la vita rimane senza risposta.

In secondo luogo, c'è il riduzionismo che deriva dall'idea di materializzare il mondo naturale. Abbiamo davvero tutti gli elementi necessari per sintetizzare un organismo vivente? Rimuovere, aggiungere o unire pezzi — tipico dell'approccio fai-da-te della biologia sintetica — può farci pensare che cellule e organismi viventi siano come manufatti che funzionano semplicemente assemblando i loro componenti. La conseguenza di questo approccio è la perdita della distinzione tra organismi viventi e macchine, il che provoca un indebolimento dello status morale che li differenzia, inclusi gli esseri umani, che sarebbero considerati un semplice aggregato di molecole, cellule, tessuti e organi. Da questa prospettiva, la vita si riduce a materia. Questo è il mondo di Richard Dawkins, Peter Singer

e altri genetisti e biologi materialisti. La realtà, tuttavia, è molto diversa e, almeno in Biologia, $2 + 2$ non sono sempre uguali a 4. C'è qualcosa che ci trascende, qualcosa che distingue i vivi dai non viventi e che raggiunge livelli che non possono essere affrontati in termini materiali, con un evidente salto qualitativo negli esseri umani. Lo status morale non è intrinseco alla vita stessa, ma alle caratteristiche possedute dagli esseri viventi, che nell'uomo raggiungono il suo livello più alto attraverso la consapevolezza di sé e la razionalità, base della dignità umana e della considerazione degli esseri umani come fini in sé.

In terzo luogo, vale la pena chiedersi quali siano le sue applicazioni: perché vogliamo una cellula artificiale se abbiamo già modifiche molto efficienti che possono essere apportate nelle cellule naturali? Sebbene la sintesi di cellule artificiali possa avere applicazioni interessanti in salute e farmacologia, utilizzando queste creazioni come fabbriche per produrre molecole di interesse, come in altri campi della biologia sintetica, solleva anche preoccupazioni sulla sicurezza di questi progressi, sui loro potenziali rischi per l'ambiente e per l'uomo, e sugli aspetti etici legati agli obiettivi perseguiti. C'è sempre la minaccia di un doppio utilizzo, per bene o male, inclusa la potenziale applicazione per creare armi biologiche per scopi di guerra o terrorismo, certamente più pericolosi delle armi nucleari. Sorgono quindi domande importanti sulla necessità di creare cellule artificiali che non supereranno mai quelle naturali. Guardando al futuro, dobbiamo essere vigili riguardo alle conseguenze dei potenziali usi che potrebbero essere fatti di queste tecnologie.

Nicolás Jouve

Professore Emerito di Genetica presso l'Università di Alcalá

Membro dell'Osservatorio di Bioetica dell'Università Cattolica di Valencia

Riferimenti

[1] Jouve, N. *Esplorando i geni. Del big-bang a la nueva Biología*. Ediciones Encuentro, Madrid, 2008. Cap. 7.

[2] de Duve Ch. *La vida en evolución*. Crítica, Barcellona, 2004, p. 25.

[3] Maynard Smith, J. "Il tempo nel processo evolutivo", in *Studium Generale* 23 (1970): 266-272.

[4] Hutchison CA, Peterson SN, Gill SR, Venter JC. e altri. Mutagenesi globale del trasposone e un genoma *minimo di Mycoplasma*. *Scienza*. 1999 286(5447): 2165-2169.

[5] Gigson DG, Venter JC. e altri. Creazione di una cellula batterica controllata da un genoma chimicamente sintetizzato. *Scienceexpress*: 20 maggio 2010 / Pagina 1 / 10.1126/science.119071

[6] Pelletier JF, Sun L, Strychalski EA. et al. Requisiti genetici per la divisione cellulare in una cellula genomicamente minima. *Cella*. 2021 184(9):2430-2440.

[7] Guindani C, da Silva LC, Cao S, Ivanov T, Landfester K. Cellule sintetiche: da semplici moduli bio-ispirati a sistemi integrati sofisticati. *Angew Chem Int Ed Engl*. 2022 61(16):e202110855.