

Perché la scienza ha bisogno della filosofia

Lucie Laplane, Paolo Mantovani, Ralph Adolphs, +5, e Thomas Pradeu — [Autori Info & Affiliazioni](#)

Marzo 5, 2019

116 (10) 3948-3952

<https://doi.org/10.1073/pnas.1900357116>

Una conoscenza del contesto storico e filosofico conferisce quel tipo di indipendenza dai pregiudizi della loro generazione di cui la maggior parte degli scienziati stanno soffrendo. Questa indipendenza creata dall'intuizione filosofica è, - nella mia opinione - l'elemento distintivo tra un semplice artigiano o specialista e un vero ricercatore della verità.

— Albert Einstein, Lettera a Robert Thornton, 1944

Nonostante gli stretti legami storici tra scienza e filosofia, gli scienziati odierni spesso percepiscono la filosofia come completamente diversa dalla scienza, e persino antagonista, ad essa. Sosteniamo qui che, al contrario, la filosofia può avere un impatto importante e produttivo sulla scienza.



Nonostante gli stretti legami storici tra scienza e filosofia, che si rifanno a Platone, Aristotele e altri (qui evocati con la famosa Scuola di Atene di Raffaello), gli scienziati odierni spesso percepiscono la filosofia come completamente diversa dalla scienza, e persino antagonista ad essa. Al contrario, crediamo che la filosofia possa avere un impatto importante e produttivo sulla scienza. Credito immagine: Shutterstock.com/Isogood_patrick.

Illustriamo il nostro punto di vista con tre esempi tratti da vari campi delle scienze della vita contemporanee. Ognuno di essi si basa su una ricerca scientifica all'avanguardia e ciascuno di essi è stato esplicitamente riconosciuto dai ricercatori praticanti come un utile contributo alla scienza. Questi e altri esempi mostrano che il contributo della filosofia può assumere almeno quattro forme:

1. il chiarimento di concetti scientifici,
2. la valutazione critica di ipotesi o metodi scientifici,
3. la formulazione di nuovi concetti e teorie e la promozione del dialogo
 - a. tra le diverse scienze,
 - b. così come tra scienza e società.

Chiarimento concettuale e cellule staminali.

In primo luogo, la filosofia offre chiarimenti concettuali. I chiarimenti concettuali non solo migliorano la precisione e l'utilità dei termini scientifici, ma portano anche a nuove indagini sperimentali perché la scelta di un dato quadro concettuale vincola fortemente il modo in cui gli esperimenti sono concepiti.

La definizione di *cellule staminali* è un ottimo esempio. La filosofia ha una lunga tradizione di ricerca ed indagine sulle proprietà, e gli strumenti in uso in questa tradizione sono stati recentemente applicati per descrivere la "staminalità", la proprietà che definisce le cellule staminali. Uno di noi ha dimostrato che nelle attuali conoscenze scientifiche esistono quattro diversi tipi di proprietà sotto le spoglie della staminalità (1). A seconda del tipo di tessuto, la staminalità può essere una proprietà categoriale (una proprietà intrinseca della cellula staminale, indipendente dal suo ambiente), una proprietà disposizionale (una proprietà intrinseca della cellula staminale che è controllata dal microambiente), una proprietà relazionale (una proprietà estrinseca che può essere conferita alle cellule non staminali dal microambiente), o una proprietà sistemica (una proprietà che viene mantenuta e controllata a livello dell'intera popolazione cellulare).

Il ricercatore di biologia delle cellule staminali e del cancro Hans Clevers osserva che questa analisi filosofica evidenzia importanti problemi semantici e concettuali in oncologia e biologia delle cellule staminali; suggerisce anche che questa analisi è facilmente applicabile alla sperimentazione (2). Infatti, al di là del chiarimento concettuale, questo lavoro filosofico ha applicazioni nel mondo reale, come illustrato dal caso delle cellule staminali tumorali in oncologia.

La ricerca finalizzata allo sviluppo di farmaci mirati alle cellule staminali tumorali o al loro microambiente si basa in realtà su diversi tipi di staminalità ed è quindi probabile che abbia tassi di successo diversi a seconda del tipo di cancro (1). Inoltre, potrebbero non coprire tutti i tipi di cancro perché le attuali strategie terapeutiche non tengono conto della definizione sistemica di staminalità. Determinare il tipo di staminalità presente in ogni tessuto e cancro è quindi utile per indirizzare lo sviluppo e la scelta delle terapie antitumorali. In pratica, questo quadro ha portato allo studio di terapie antitumorali che combinano il targeting delle proprietà intrinseche delle cellule staminali tumorali, del loro microambiente e dei checkpoint immunitari per coprire tutti i possibili tipi di staminalità (3).

Inoltre, questo quadro filosofico è stato recentemente applicato ad un altro campo, lo studio degli organoidi. In una revisione sistemica dei dati sperimentali sugli organoidi provenienti da varie fonti, Picollet-D'hahan et al. (4) hanno caratterizzato la capacità di formare organoidi come una proprietà disposizionale. Potrebbero quindi sostenere che per aumentare l'efficienza e la riproducibilità della produzione di organoidi, una delle principali sfide attuali nel campo, i ricercatori hanno bisogno di una migliore comprensione della parte intrinseca della proprietà disposizionale che è influenzata dal microambiente. Per discriminare le caratteristiche intrinseche delle cellule che hanno una tale disposizione, questo gruppo sta ora sviluppando metodi genomici funzionali ad alto rendimento, consentendo un'indagine sul ruolo nella formazione degli organoidi, teoricamente, da parte di ogni gene umano.

Immunogenicità e Microbioma.

Complementare al suo ruolo di chiarimento concettuale, la filosofia può contribuire alla critica dei presupposti scientifici e può anche essere proattiva nella formulazione di teorie nuove, verificabili e predittive che aiutino a stabilire nuovi percorsi per la ricerca empirica.

Ad esempio, una critica filosofica del quadro immunitario *self-non self* (5) ha portato a due significativi contributi scientifici. In primo luogo, è stata la base della formulazione di un nuovo quadro teorico, la teoria della discontinuità dell'immunità, che integra i precedenti modelli *self-non self* e di pericolo proponendo che il sistema immunitario risponda a modifiche improvvisate di motivi antigenici (6). Questa teoria fa luce su molti importanti fenomeni immunologici, tra cui le malattie autoimmuni, le risposte immunitarie ai tumori e la tolleranza immunologica ai ligandi espressi cronicamente. La teoria della discontinuità è stata applicata a una moltitudine di domande, aiutando a esplorare gli effetti degli agenti chemioterapici sull'immunomodulazione nel cancro e spiegando come le cellule *natural killer* modifichino costantemente il loro fenotipo e le loro funzioni attraverso le loro interazioni con i loro ligandi in modo da garantire la tolleranza ai costituenti corporei (7). La teoria aiuta anche a spiegare le conseguenze delle vaccinazioni ripetute in individui immunocompromessi (8) e suggerisce modelli matematici dinamici di attivazione immunitaria. Nel complesso, queste varie valutazioni empiriche illustrano come le proposte ispirate filosoficamente possano portare a nuovi esperimenti, aprendo nuove strade per la ricerca.

In secondo luogo, la critica filosofica ha contribuito, insieme ad altri approcci filosofici, all'idea che ogni organismo, lungi dall'essere un sé geneticamente omogeneo, è una comunità simbiotica che ospita e tollera molteplici elementi estranei (inclusi batteri e virus), che sono riconosciuti ma non eliminati dal suo sistema immunitario (9). La ricerca sull'integrazione simbiotica e la tolleranza immunitaria ha conseguenze di vasta portata per la nostra concezione di ciò che costituisce un organismo individuale, che è sempre più concettualizzato come un ecosistema complesso le cui funzioni chiave, dallo sviluppo alla difesa, alla riparazione e alla cognizione, sono influenzate dalle interazioni con i microbi (9).

Influenzare le scienze cognitive.

Lo studio della cognizione e delle neuroscienze cognitive offre un'illustrazione sorprendente dell'influenza profonda e duratura della filosofia sulla scienza. Come per l'immunologia, i filosofi hanno formulato teorie ed esperimenti influenti, hanno contribuito ad avviare programmi di ricerca specifici e hanno contribuito a cambiamenti di paradigma. Ma la scala d'influenza in questo caso fa impallidire quanto fatto per l'immunologia.

La filosofia ha avuto una parte importante nel passaggio dal comportamentismo al cognitivismo e al computazionalismo negli anni '60. Forse la più visibile è stata la teoria della modularità della mente, proposta dal filosofo Jerry Fodor (10). La sua influenza sulle teorie dell'architettura cognitiva non può essere sottovalutata. In un tributo dopo la scomparsa di Fodor nel 2017, l'eminente psicologo cognitivo James Russell ha parlato sulla rivista della British Psychological Society di "psicologia dello sviluppo cognitivo *Before Fodor* (prima di Fodor) e *After Fodor* (dopo Fodor)" (<https://thepsychologist.bps.org.uk/jerry-fodor-1935-2017>).

La modularità si riferisce all'idea che i fenomeni mentali sorgono dall'operazione di più processi distinti, non da uno singolo indifferenziato. Ispirato dalle prove della psicologia sperimentale, dalla linguistica chomskiana e dalle nuove teorie computazionali della filosofia della mente, Fodor teorizzò che la cognizione umana è strutturata in un insieme di moduli specializzati di livello inferiore, specifici per dominio, incapsulati informativamente e in un sistema centrale di livello superiore, generale di dominio, per il ragionamento abduittivo con l'informazione che fluisce solo verso l'alto verticalmente, non verso il basso o orizzontalmente (cioè, tra i moduli). Ha anche formulato criteri rigorosi per la modularità. Ancora oggi, la proposta di Fodor stabilisce i termini per molte ricerche e teorie empiriche in molte aree delle scienze cognitive e delle neuroscienze (11, 12), tra cui lo sviluppo cognitivo, la psicologia evoluzionistica, l'intelligenza artificiale e l'antropologia cognitiva. Sebbene la sua teoria sia stata rivista e messa in discussione, i ricercatori

continuano a utilizzare, modificare e discutere il suo approccio e il suo kit di strumenti concettuali di base.

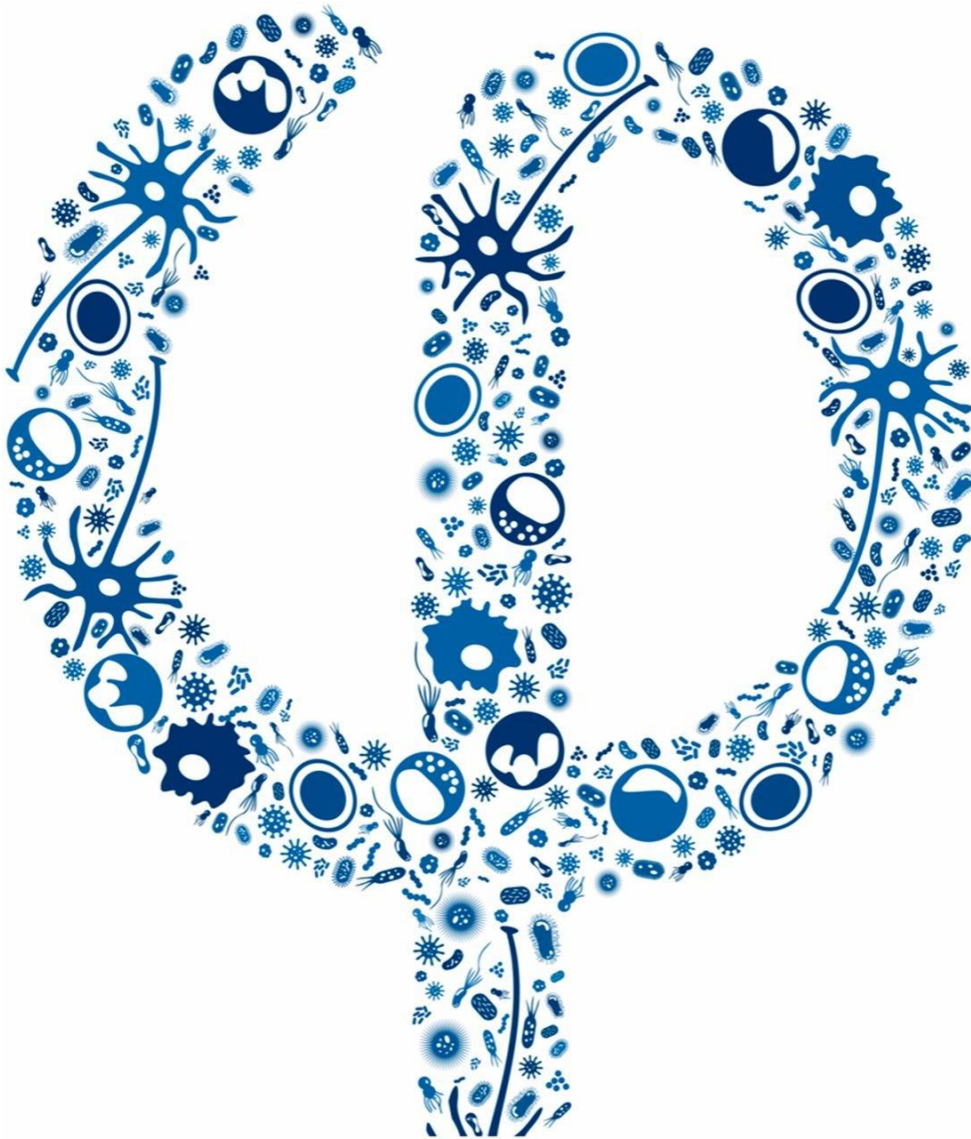
La filosofia e la scienza condividono gli strumenti della logica, dell'analisi concettuale e dell'argomentazione rigorosa. Eppure i filosofi possono utilizzare questi strumenti con gradi di accuratezza, libertà e astrazione teorica che i ricercatori praticanti spesso non possono permettersi nelle loro attività quotidiane.

Il compito della falsa credenza/convizione costituisce un altro esempio chiave dell'impatto della filosofia sulle scienze cognitive. Il filosofo Daniel Dennett è stato il primo a concepire la logica di base di questo esperimento come una revisione di un test utilizzato per valutare la teoria della mente, la capacità di attribuire stati mentali a se stessi e agli altri ([13](#)).

Il compito mette alla prova la capacità di attribuire agli altri credenze che si considerano false, l'idea chiave è che ragionare sulle false credenze degli altri, in contrapposizione alle vere credenze, richiede di concepire le altre persone come aventi rappresentazioni mentali che divergono dalle proprie e dal modo in cui il mondo è realmente. La sua prima applicazione empirica è stata nel 1983 ([14](#)), in un articolo il cui titolo, "Credenze sulle credenze: rappresentazione e funzione vincolante delle credenze sbagliate nella comprensione dell'inganno dei bambini piccoli", è di per sé un tributo diretto al contributo di Dennett.

Il compito della falsa credenza rappresenta un esperimento fondamentale, pietra miliare, in varie aree delle scienze cognitive e delle neuroscienze, con ampie applicazioni e implicazioni. Includono test per gli stadi di sviluppo cognitivo nei bambini, il dibattito sull'architettura della cognizione umana e le sue capacità distinte, la valutazione delle abilità della teoria della mente nelle grandi scimmie, lo sviluppo di teorie dell'autismo come cecità mentale (secondo la quale le difficoltà nel superare il compito della falsa credenza sono associate alla condizione) e la determinazione di quali particolari regioni del cervello sono associate alla capacità di ragionare sui contenuti della mente di un'altra persona ([15](#)).

La filosofia ha anche aiutato il campo delle scienze cognitive a vagliare ipotesi problematiche o obsolete, aiutando a guidare il cambiamento scientifico. I concetti di mente, intelligenza, coscienza ed emozione sono usati ovunque in diversi campi spesso con poco accordo sul loro significato ([16](#)). L'ingegneria dell'intelligenza artificiale, la costruzione di teorie psicologiche delle variabili dello stato mentale e l'uso degli strumenti delle neuroscienze per indagare la coscienza e l'emozione richiedono gli strumenti concettuali per l'autocritica e il dialogo interdisciplinare, proprio gli strumenti che la filosofia può fornire.



La filosofia, a volte rappresentata con la lettera greca phi, può aiutare a far progredire tutti i livelli dell'impresa scientifica, dalla teoria all'esperimento. Esempi recenti includono contributi alla biologia delle cellule staminali, all'immunologia, alla simbiosi e alle scienze cognitive. Credito immagine: Wiebke Bretting (artista).

Filosofia e conoscenza scientifica.

Gli esempi di cui sopra sono ben lungi dall'essere gli unici: nelle scienze della vita, la riflessione filosofica ha svolto un ruolo importante in questioni diverse come l'altruismo evolutivo ([17](#)), il dibattito sulle unità di selezione ([18](#)), la costruzione di un "albero della vita" ([19](#)), la predominanza dei microbi nella biosfera, la definizione del gene e l'esame critico del concetto di innatismo ([20](#)). Allo stesso modo, in fisica, questioni fondamentali come la definizione del tempo sono state arricchite dal lavoro dei filosofi. Ad esempio, l'analisi dell'irreversibilità temporale di Huw Price ([21](#)) e le curve temporali chiuse di David Lewis ([22](#)) hanno contribuito a dissipare la confusione concettuale in fisica ([23](#)).

Ispirati da questi esempi e da molti altri, vediamo la filosofia e la scienza come situate su un continuum. La filosofia e la scienza condividono gli strumenti della logica, dell'analisi concettuale e dell'argomentazione rigorosa. Eppure, i filosofi possono utilizzare questi strumenti con gradi di accuratezza, libertà e astrazione teorica che i ricercatori praticanti spesso non possono permettersi

nelle loro attività quotidiane. I filosofi con le conoscenze scientifiche pertinenti possono quindi contribuire in modo significativo al progresso della scienza a tutti i livelli dell'impresa scientifica, dalla teoria all'esperimento, come mostrano gli esempi di cui sopra.

Ma in pratica, come possiamo facilitare la cooperazione tra ricercatori e filosofi? A prima vista, la soluzione potrebbe sembrare ovvia: ogni comunità dovrebbe fare un passo avanti verso l'altra.

Eppure, sarebbe un errore considerare questo un compito facile. Gli ostacoli sono molti.

Attualmente, un numero significativo di filosofi disdegna la scienza o non ne vede l'importanza per il loro lavoro. Anche tra i filosofi che favoriscono il dialogo con i ricercatori, pochi hanno una buona conoscenza delle ultime scoperte scientifiche. Al contrario, pochi ricercatori percepiscono i benefici che le intuizioni filosofiche possono portare. Nell'attuale contesto scientifico, dominato da una crescente specializzazione e da crescenti richieste di finanziamenti e risultati, solo un numero molto limitato di ricercatori ha il tempo e l'opportunità di essere a conoscenza del lavoro prodotto dai filosofi sulla scienza, per non parlare di leggerlo.

Per superare queste difficoltà, crediamo che una serie di semplici raccomandazioni, che potrebbero essere prontamente implementate, possano aiutare a colmare il divario tra scienza e filosofia. La riconnessione tra filosofia e scienza è altamente desiderabile e più realizzabile nella pratica di quanto suggerito dai decenni di allontanamento tra di loro.

- i) Dare più spazio alla filosofia nelle conferenze scientifiche. Questo è un meccanismo molto semplice per i ricercatori per valutare la potenziale utilità delle intuizioni dei filosofi per la propria ricerca. Reciprocamente, più ricercatori potrebbero partecipare a conferenze di filosofia, ampliando gli sforzi di organizzazioni come la Società Internazionale per la Storia, la Filosofia e gli Studi Sociali di Biologia; l'Associazione di Filosofia della Scienza; e la Società per la Filosofia della Scienza in Pratica.
- ii) Ospitare filosofi in laboratori e dipartimenti scientifici. Questo è un modo potente (già esplorato da alcuni autori e da altri) per i filosofi di apprendere la scienza e fornire analisi più appropriate e ben fondate, e per i ricercatori di beneficiare degli input filosofici e acclimatarsi alla filosofia più in generale. Questo potrebbe essere il modo più efficace per aiutare la filosofia ad avere un impatto rapido e concreto sulla scienza.
- iii) Co-supervisione dei dottorandi. La co-supervisione di dottorandi da parte di un ricercatore e di un filosofo è un'ottima opportunità per rendere possibile l'incrocio dei due campi. Facilita la produzione di dissertazioni che siano ricche sia di esperimenti che concettualmente rigorose e, nel processo, forma la prossima generazione di filosofi-scienziati.
- iv) Creare curricula equilibrati in scienza e filosofia che favoriscano un dialogo autentico tra di loro. Alcuni di questi programmi di studio esistono già in alcuni paesi, ma la loro espansione dovrebbe essere una priorità assoluta. Possono fornire agli studenti di scienze una prospettiva che li responsabilizzi meglio per le sfide concettuali della scienza moderna e fornire ai filosofi una solida base per la conoscenza scientifica che massimizzerà il loro impatto sulla scienza. I curricula scientifici potrebbero includere un corso di storia della scienza e di filosofia della scienza. I curricula di filosofia potrebbero includere un modulo di scienze.
- v) Leggere scienza e filosofia. Leggere la scienza è indispensabile per la pratica della filosofia della scienza, ma leggere la filosofia può anche costituire una grande fonte di ispirazione per i ricercatori, come illustrato da alcuni degli esempi sopracitati. Ad esempio, i journal club in cui vengono discussi sia la scienza che i contributi filosofici costituiscono un modo efficace per integrare filosofia e scienza.
- vi) Aprire nuove sezioni dedicate a questioni filosofiche e concettuali nelle riviste scientifiche. Questa strategia sarebbe un modo appropriato e convincente per suggerire che il lavoro filosofico e concettuale è in continuità con il lavoro sperimentale, nella misura in cui ne è ispirato, e può ispirarlo a sua volta. Inoltre, renderebbe le riflessioni

filosofiche su un particolare dominio scientifico molto più visibili alla comunità scientifica pertinente rispetto a quando sono pubblicate su riviste di filosofia, che sono raramente lette dagli scienziati.

Ci auguriamo che i passi pratici sopra esposti incoraggino una rinascita nell'integrazione di scienza e filosofia. Inoltre, sosteniamo che mantenere una stretta fedeltà con la filosofia migliorerà la vitalità della scienza. La scienza moderna senza filosofia si scontrerà con un muro: il diluvio di dati all'interno di ogni campo renderà sempre più difficile l'interpretazione, la negligenza dell'ampiezza e della storia frantumerà ulteriormente e separerà le sottodiscipline scientifiche, e l'enfasi sui metodi e sui risultati empirici porterà a una formazione sempre più superficiale degli studenti. Come ha scritto Carl Woese (24): "una società che permette alla biologia di diventare una disciplina ingegneristica, che permette alla scienza di scivolare nel ruolo di cambiare il mondo vivente senza cercare di capirlo, è un pericolo per se stessa". Abbiamo bisogno di un rinvigorimento della scienza a tutti i livelli, che ci restituisca i benefici di uno stretto legame con la filosofia.

Riconoscimenti

T.P. ha ricevuto finanziamenti dall'European Research Council (ERC) nell'ambito del programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea Grant 637647 – IDEM. M.M.-N. è finanziato da sovvenzioni NIH R37 AI050661 e R01 OD011024. R.A. è finanziato in parte dalla sovvenzione NSF BCS-1845958.

Referenze

1

L Laplane *Cellule staminali tumorali: filosofia e terapie* (Harvard Univ Press, Cambridge, MA, 2016).

[Riferimento incrociato](#)

[Studio di Google](#)

2

H Clevers, Terapia del cancro: definizione di staminalità. *Natura* **534**, 176–177 (2016).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[Studio di Google](#)

3

L Bialkowski, et al., Il blocco del checkpoint immunitario combinato con l'inibizione di IL-6 e TGF- β migliora l'esito terapeutico dell'immunoterapia basata su mRNA. *Int J Cancro* **143**, 686–698 (2018).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

4

N Picollet-D'hahan, ME Dolega, D Freida, DK Martin, X Gidrol, Decifrare le proprietà intrinseche delle cellule: una questione chiave per una robusta produzione di organoidi. *Tendenze Biotechnol* **35**, 1035–1048 (2017).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

5

T Pradeu, ED Carosella, Sulla definizione di un criterio di immunogenicità. *Proc Natl Acad Sci USA* **103**, 17858– 17861 (2006).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

6

T Pradeu, S Jaeger, E Vivier, La velocità del cambiamento: verso una teoria della discontinuità dell'immunità? *Nat Rev Immunol* **13**, 764–769 (2013).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

7

JE Boudreau, KC Hsu, Educazione delle cellule natural killer e risposta alle infezioni e alla terapia del cancro: resta sintonizzato. *Tendenze Immunol* **39**, 222–239 (2018).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

8

S Rinaldi, et al., Le risposte delle cellule B anticorpali ma non di memoria sono sintonizzate nei bambini e nei giovani individui con infezione verticale da HIV-1 che vengono vaccinati ogni anno contro l'influenza. *Vaccino* **32**, 657–663 (2014).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

9

M McFall-Ngai, et al., Animali in un mondo batterico, un nuovo imperativo per le scienze della vita. *Proc Natl Acad Sci USA* **110**, 3229– 3236 (2013).

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

10

JA Fodor *Modularità della mente: un saggio sulla psicologia della facoltà* (MIT Press, Cambridge, MA, 1983).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[Studio di Google](#)

11

HC Barrett, R Kurzban, Modularità nella cognizione: inquadrare il dibattito. *Psychol Rev* **113**, 628–647 (2006).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

12

N Kanwisher, Specificità del dominio nella percezione del volto. *Nat Neurosci* **3**, 759–763 (2000).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

13

DC Dennett, Credenze sulle credenze. *Behav Brain Sci* **1**, 568–570 (1978).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[Studio di Google](#)

14

H Wimmer, J Perner, Credenze sulle credenze: rappresentazione e funzione vincolante delle credenze sbagliate nella comprensione dell'inganno da parte dei bambini piccoli. *Cognizione* **13**, 103–128 (1983).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

15

U Frith, CD Frith, Sviluppo e neurofisiologia della mentalizzazione. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* **358**, 459–473 (2003).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)

16

R Adolphs *La neuroscienza dell'emozione: una nuova sintesi* (Princeton Univ Press, Princeton, 2018).

[Vai alla referenza](#)

[Studio di Google](#)

17

E Sober, DS Wilson *agli altri: l'evoluzione e la psicologia del comportamento altruistico* (Harvard Univ Press, Cambridge, MA, 1998).

[Vai alla referenza](#)

[Studio di Google](#)

18

S Okasha *Evolution and the Levels of Selection* (Oxford Univ Press, Londra, 2006).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[Studio di Google](#)

19

EV Koonin *La logica del caso: la natura e l'origine dell'evoluzione biologica* (FT Press, 1a ed., Upper Saddle River, NJ, 2011).

[Vai alla referenza](#)

[Studio di Google](#)

20

M Mameli, P Bateson, L'innatismo e le scienze. *Biol Philos* **21**, 155–188 (2006).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[Studio di Google](#)

21

H Price *La freccia del tempo e il punto di Archimede: riflessioni filosofiche sul tempo e la fisica* (Oxford Univ Press, Londra, 1996).

[Vai alla referenza](#)

[Studio di Google](#)

22

D Lewis, I paradossi del viaggio nel tempo. *Am Philos Q* **13**, 145–152 (1976).

[Vai alla referenza](#)

[Studio di Google](#)

23

C. Rovelli, La fisica ha bisogno della filosofia. La filosofia ha bisogno della fisica. *Trovato Phys* **48**, 481–491 (2018).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[Studio di Google](#)

24

CR Woese, Una nuova biologia per un nuovo secolo. *Microbiol Mol Biol Rev* **68**, 173–186 (2004).

[Vai alla referenza](#)

[Riferimento incrociato](#)

[PubMed](#)

[Studio di Google](#)