

APhEx 23, 2021 (ed. Vera Tripodi)
Ricevuto il: 31/07/2020
Accettato il: 24/12/2020
Redattore: Francesca Ervas & Paolo Labinaz

APhEx
PORTALE ITALIANO DI FILOSOFIA ANALITICA
GIORNALE DI **FILOSOFIA**
NETWORK
N° 23, 2021

T E M I

Il concetto di funzione in filosofia della biologia

Claudio Davini

Questo articolo ha l'obiettivo di fornire una breve introduzione critica al dibattito filosofico sul concetto di funzione in filosofia della biologia. Tale concetto è stato variamente dibattuto nel corso degli anni e, nonostante il passare del tempo, la discussione non si è ancora esaurita. In questo articolo, ci occuperemo delle seguenti teorie: la teoria eziologica forte, la teoria eziologica debole, la teoria generalizzata degli effetti selezionati, la teoria del ruolo causale e la teoria del vantaggio biologico. Di seguito, ne esamineremo i tratti salienti e prenderemo in considerazione alcune delle obiezioni più importanti che sono state loro rivolte.

INDICE

1. INTRODUZIONE
2. LA TEORIA EZIOLOGICA
 - 2.1. LA TEORIA EZIOLOGICA FORTE
 - 2.2. LA TEORIA EZIOLOGICA DEBOLE
 - 2.3. LA TEORIA GENERALIZZATA DEGLI EFFETTI SELEZIONATI
3. LA TEORIA DEL RUOLO CAUSALE
4. LA TEORIA DEL VANTAGGIO BIOLOGICO
5. EZIOLOGIA E ADATTAZIONISMO
6. CONCLUSIONE

1. Introduzione

Al contrario di quanto avviene solitamente in molte discipline scientifiche contemporanee, quali ad esempio la geologia, la chimica o l'astronomia, nelle scienze biologiche si fa costante riferimento a una nozione assai particolare, quella di funzione¹. E infatti non è certo una rara eventualità imbattersi in affermazioni simili: la funzione del guscio dei granchi è quella di proteggere le interiora; la funzione dei reni è quella di filtrare il sangue dai prodotti di scarto del metabolismo; la funzione delle strisce delle zebre è quella di allontanare i parassiti e gli insetti ematofagi. Come si può notare, ognuna di queste affermazioni non fa che attribuire una funzione a date componenti biologiche macroscopiche, visibili. Ma le attribuzioni di funzione possono essere rinvenute anche nell'ambito degli studi di genetica: si pensi al consorzio di ricerca *Encyclopedia of DNA elements*², il cui principale obiettivo di ricerca è precisamente quello di sequenziare gli elementi funzionali del genoma umano per ribaltare l'opinione corrente secondo cui il 90% del genoma stesso sarebbe nient'altro che DNA non-codificante, cioè tale da non poter produrre una catena polipeptidica.

Ora, per quale motivo i biologi ricorrono così spesso alle attribuzioni di funzione, e cosa significa più precisamente parlare della funzione di un tratto biologico? A una simile domanda, i filosofi della biologia non hanno ancora fornito una risposta unanime: anzi, il dibattito è tutt'ora intenso e vivace, e non manca affatto di presentare svariate, molteplici posizioni. Ma

¹ Come osservato da Okasha, «i geologi non parlano della funzione dei ghiacciai; gli astronomi non studiano la funzione dei pianeti; e i chimici non si riferiscono alla funzione dei legami covalenti» (Okasha 2019, 27).

² Per conoscere le attività del consorzio, si veda anzitutto www.encodeproject.org, consultato il 02/06/2020.

fortunatamente, nella quasi totalità dei casi, queste posizioni si propongono tutte di rispettare almeno uno dei seguenti requisiti³:

1. Una teoria della funzione biologica deve consentirci di poter distinguere efficacemente tra funzioni genuine e accidenti, tra effetti primari ed effetti secondari di un dato tratto. Il naso, ad esempio, ha una funzione olfattiva e respiratoria, e non certo la funzione di sorreggere gli occhiali da vista. Per quanto riesca assai bene a svolgere quest'ultimo compito, una teoria della funzione biologica deve appunto poter riuscire a mostrare che la vera e propria funzione del naso è una funzione olfattiva e respiratoria, e non qualche suo altro effetto secondario. In altre parole, non tutti gli effetti di un tratto biologico possono essere considerati parte della sua funzione specifica, come si può evincere ulteriormente dall'esempio seguente: quando un esemplare maschio di uccello del paradiso esegue il complesso rituale del corteggiamento⁴, i suoi movimenti possono attirare non soltanto le eventuali future compagne, ma anche i predatori. A questo proposito, è necessario che una teoria della funzione biologica sia in grado di esibire correttamente la differenza che intercorre fra quest'ultimo effetto e la reale funzione dei movimenti eseguiti durante il corteggiamento.
2. Molto spesso, quando attribuiamo una funzione a un dato tratto biologico, ci proponiamo al contempo di spiegare il motivo per cui quel medesimo tratto è presente; insomma, la ragione per cui appunto quel tratto si trova esattamente dov'è, con la sua propria funzione particolare⁵. Una teoria della funzione biologica deve

³ I tre requisiti che seguono, divenuti canonici nel corso del dibattito, sono gli obiettivi che le teorie della funzione biologica si sono variamente proposte di raggiungere. Ovviamente, ciò non significa che essi siano interamente vincolanti o che non possano essere individuati nuovi obiettivi. Tuttavia, data la natura introduttiva di questo contributo, è necessario far riferimento non già alle eccezioni, per quanto indicative e interessanti, ma alle posizioni apparse più e più volte in letteratura.

⁴ Per corteggiare le femmine, l'esemplare maschio di uccello del paradiso intraprende una danza davvero singolare: dopo aver richiamato le femmine con suoni ripetuti, il maschio comincia a sbattere le ali e a saltellare ritmicamente, allungando a ventaglio le penne del petto e del dorso.

⁵ Come vedremo però nella sezione 5., in natura esistono anche caratteri sorti per una ragione indipendente dalla loro utilità attuale.

poter appunto rendere conto di questo aspetto, di questo utilizzo esplicativo delle attribuzioni di funzione.

3. Una teoria della funzione biologica deve essere inoltre in grado di esibire con sicurezza la differenza che intercorre tra funzionamento e malfunzionamento di un dato tratto biologico. Lo stomaco, ad esempio, serve a digerire il cibo, ma a causa di un'ulcera potrebbe non svolgere più questa funzione. Insomma, una teoria della funzione biologica non può affatto esimersi dal render conto di una simile dimensione normativa, dimensione che è appunto insita nella natura di una funzione genuina⁶. Come vedremo, ognuna delle singole teorie della funzione biologica che andremo a esaminare definisce la funzione dei tratti biologici secondo specifici criteri, ed è soltanto in base a questi criteri che ognuna di esse può di conseguenza individuare i malfunzionamenti dei tratti biologici stessi.

Nel prosieguo dell'articolo, analizzeremo le principali teorie della funzione biologica e la maniera in cui si rapportano ai suddetti elementi; se cioè riescano a renderne conto in maniera globale o se piuttosto, nel tentativo di giustificare un aspetto in particolare, non rischino di dimenticare gli altri. Tuttavia, prima di volgere la nostra attenzione a questi interrogativi, non possiamo fare a meno di considerare il punto di vista del senso comune, dal momento che esso ha rivestito più volte un ruolo epistemico significativo nella storia del pensiero filosofico occidentale⁷.

Secondo il senso comune, ossia quell'insieme di credenze ordinarie che la maggior parte degli esseri umani condivide, per identificare la funzione di un dato tratto biologico non dovremmo far altro che considerare i suoi

⁶ In questo contesto, l'uso del concetto di normatività non ha niente a che fare con l'etica e i valori morali, ma sta semplicemente a significare che è possibile, per un dato tratto biologico, avere degli effetti che non corrispondono direttamente alla sua funzione primaria, la quale costituisce appunto, per così dire, la norma di quel medesimo tratto.

⁷ Si pensi alla figura di Thomas Reid, fondatore della Scuola scozzese del senso comune e accanito sostenitore della necessità di ricusare le concezioni filosofiche che sminuiscono le credenze derivanti dal buon senso. Senza dimenticare il pragmatismo di Charles S. Peirce, imperniato sulla Dottrina critica del senso comune elaborata dal filosofo americano a partire dalle riflessioni dello stesso Reid. Comunque, ciò non significa che il senso comune non sia stato spesso oggetto di valutazioni negative da parte di filosofi e scienziati. Anzi, in molti casi la filosofia e la scienza sono state intese come attività volte all'emancipazione dal senso comune stesso. Per un'introduzione alla nozione di senso comune, si veda Graziani (2020).

effetti osservabili e descrivibili. In altre parole, stando al senso comune, la funzione specifica di un tratto biologico X è Y se e solo se Y è un effetto osservabile e descrivibile del tratto considerato. A un primo sguardo, quella del senso comune sembrerebbe una risposta assai plausibile. Consideriamo a tal proposito l'esempio del guscio dei granchi: la funzione del guscio, nei granchi, è appunto quella di proteggere le interiora, e questo proprio perché una simile protezione non è altro che un effetto osservabile e descrivibile del guscio stesso, come chiunque potrebbe constatare.

Questo non sembra essere tuttavia l'unico effetto del guscio dei granchi. Infatti, come osservato da Samir Okasha, noto filosofo della biologia, «un simile tratto biologico ha anche l'effetto di render più facile, per i pescatori, la pesca dei granchi medesimi» (Okasha 2019, 28). Dunque, facendo nostro il punto di vista del senso comune, mancheremmo di rispettare un requisito fondamentale di ogni buona teoria della funzione biologica: la possibilità di distinguere tra funzioni genuine ed effetti secondari. Insomma, saremmo costretti a identificare la funzione di un dato tratto biologico anche con i cosiddetti effetti collaterali indesiderati. Ma questa non è altro che una conclusione totalmente controintuitiva, perché ponderando in maniera più adeguata i termini della questione nessuno sarebbe disposto a riconoscere nello sventurato accidente della pesca la funzione genuina del guscio dei granchi⁸. Così come eviteremmo di identificare la funzione delle strisce delle zebre con l'effetto, certamente secondario, di stimolare la curiosità dei bambini più piccoli.

Inoltre, il senso comune non è in grado di render conto nemmeno dell'esistenza dei singoli tratti biologici: invero, come potrebbe la curiosità di qualche bambino spiegare la presenza delle strisce zebrate? Per non parlare del fatto che una simile prospettiva non ci permetterebbe in nessun modo di rinvenire alcun genere di norma funzionale: infatti, la posizione del senso comune è incapace di distinguere tra funzioni genuine ed effetti secondari. È per questo motivo che dobbiamo abbandonare la vaghezza di quest'impostazione, se vogliamo comprendere che cosa intendono biologi e filosofi della biologia quando parlano di funzioni biologiche.

⁸ Come affermato in precedenza, le varie teorie della funzione biologica definiscono la funzione genuina dei tratti biologici in base a criteri differenti. È proprio sulla base di questi criteri che siamo in grado di distinguere in maniera efficace le funzioni dagli effetti secondari. Secondo la teoria eziologica forte (si veda il paragrafo 2.1.), ad esempio, la funzione di un dato tratto biologico deve essere identificata con l'effetto in base a cui la selezione naturale ne ha favorito lo sviluppo. In tal senso, l'effetto di "facilitare" la pesca non è certo il risultato di un processo di selezione naturale, e dunque non può essere considerato come la reale funzione del guscio dei granchi.

2. La teoria eziologica

2.1. La teoria eziologica forte

A partire dalla seconda metà del Ventesimo secolo, e più in particolare dagli anni '70, alcuni filosofi della biologia iniziarono a riflettere sulla nozione di funzione biologica e sulla relazione che intercorre tra funzioni biologiche e spiegazioni selettive, cioè facenti riferimento al meccanismo darwiniano della selezione naturale. Uno dei primi filosofi della biologia a indagare una simile connessione fu Francisco Ayala (1968, 1970). A suo avviso, «gli adattamenti degli organismi devono essere spiegati in maniera teleologica, ossia tenendo presente il contributo fornito in passato da quei medesimi adattamenti al tasso riproduttivo degli organismi considerati» (Ayala 1970, 8). Tuttavia, pur notando la sussistenza di un collegamento tra le funzioni biologiche e il meccanismo della selezione naturale, Ayala non definì mai esplicitamente le funzioni biologiche nei termini del suddetto meccanismo. Cosa che si rifiutò di fare anche William Wimsatt (1972), il quale riteneva che una buona teoria delle funzioni biologiche dovesse configurarsi come un'analisi concettuale dell'uso ordinario del termine, e chiaramente, al di fuori di un contesto accademico, ben pochi sarebbero disposti a definire le funzioni biologiche attraverso il concetto di selezione naturale.

Dal canto suo, Larry Wright (1973; 1976) definì le funzioni biologiche nei termini di un processo generale a cui lui stesso si riferì più volte col nome di *eziologia delle conseguenze*⁹. A suo avviso, la funzione di un dato tratto biologico X è Y solo nel caso in cui vengano rispettate due distinte condizioni: che X sia presente appunto per il fatto di aver l'effetto Y, e che Y sia precisamente il risultato della presenza di X. La prima condizione, secondo Wright, è rispettata soltanto nel caso in cui il tratto biologico X sia stato selezionato per svolgere la particolare funzione Y¹⁰. In base a questa definizione, possiamo affermare che il pollice opponibile ha la funzione di aiutarci ad afferrare gli oggetti se appunto il pollice opponibile si trova sulle nostre mani per il fatto di aiutarci ad afferrare gli oggetti. Eppure,

⁹ Per eziologia si intende generalmente lo studio delle cause dei fenomeni o l'origine di date manifestazioni. In medicina, ad esempio, il termine eziologia indica l'indagine delle cause, sia esterne sia interne, delle malattie.

¹⁰ Wright riteneva che esistesse una stretta connessione tra funzioni biologiche e selezione naturale, ma come Ayala e Wimsatt non ha mai pensato che si dovessero definire le prime nei termini della seconda. La ragione di questo rifiuto è da ricercarsi nell'opinione wrightiana secondo cui una buona analisi del concetto di funzione «dovrebbe essere la medesima sia per quanto riguarda le funzioni biologiche sia per quanto riguarda le funzioni degli artefatti» (Garson 2016, 39).

nonostante la sua apparente plausibilità, una simile formulazione non è affatto esente da controesempi, come ha mostrato Boorse (1976). L'obesità, ad esempio, favorisce l'adozione di uno stile di vita sedentario, e uno stile di vita sedentario contribuisce a un ulteriore aumento del peso corporeo. Ora, stando alla teoria di Wright, «dovremmo spiegare l'obesità di una persona osservando le conseguenze prodotte in passato dall'obesità stessa su quella medesima persona» (Boorse 1976, 75-76), ma non potremmo certo dire che la funzione specifica dell'obesità sia quella di far emergere uno stile di vita sedentario.

Per evitare difficoltà di questo genere, due note studiose, Ruth Millikan (1984) e Karen Neander (1983), proposero di definire le funzioni biologiche esplicitamente nei termini del meccanismo della selezione naturale. In tal senso, allora, l'obesità non può svolgere la funzione di contribuire a uno stile di vita sedentario dal momento che appunto non è stata selezionata per avere un simile effetto: insomma, non c'è mai stata una popolazione al cui interno l'obesità abbia favorito taluni individui a discapito di altri. Sebbene Millikan e Neander siano abbastanza concordi sulle linee fondamentali di una teoria eziologica che definisca le funzioni biologiche come il risultato di un procedimento di selezione naturale, per ragioni di spazio procederemo a esporre soltanto la teoria di Neander (1983, 1991, 1995a).

Secondo la studiosa australiana, parlare della funzione di un dato tratto biologico non significa nient'altro che riferirsi al motivo per cui la selezione naturale ha fatto sì che quel medesimo tratto emergesse e poi continuasse a persistere nella popolazione di riferimento. Questa teoria è nota col nome di teoria eziologica forte, dal momento che provvede a chiarire la nozione di funzione biologica attraverso il concetto di selezione naturale¹¹. Per accostarci a questa teoria, consideriamo anzitutto l'esempio seguente: il manto bianco dell'orso polare ha molteplici effetti, fra cui riflettere la luce del sole e favorire il camuffamento; considerato però l'ambiente di caccia dell'orso polare, possiamo concludere che la funzione del manto bianco è rappresentata proprio da quest'ultimo effetto. In altre parole, la funzione mimetica resa possibile dal suddetto tratto biologico non è che l'effetto in virtù del quale la selezione ne ha favorito lo sviluppo.

Ma che cosa significa, con più precisione, affermare che la funzione del manto bianco dell'orso polare è quella di favorire il camuffamento o, in termini generali, che la funzione di un dato tratto X è Y? L'idea di Neander è la seguente:

¹¹ Invece, come vedremo nel prossimo paragrafo, i sostenitori della teoria eziologica debole ritengono che il riferimento al concetto di selezione naturale non sia di per sé necessario per spiegare il ruolo esplicativo delle funzioni biologiche.

In un dato organismo Z, la funzione particolare del tratto X è Y se e solo se Y è quell'effetto del tratto X che in passato ha contribuito a generare un vantaggio riproduttivo negli antenati di Z, e che ha fatto sì che il genotipo, di cui X non è altro che l'espressione fenotipica, venisse selezionato come tale.¹² (Neander 1991, 174)

Per fare un altro esempio, possiamo asserire che la funzione del pollice opponibile è quella di consentire una buona presa sugli oggetti che desideriamo utilizzare perché un simile effetto ha contribuito, in passato, ad aumentare il vantaggio riproduttivo di individui dotati di pollici opponibili. In breve, afferrare gli oggetti è quel particolare effetto in virtù del quale il pollice opponibile è stato selezionato, ed è per questo che quella è appunto la sua specifica funzione.

Secondo Neander, la teoria eziologica forte, altrimenti detta teoria degli effetti selezionati, possiede alcuni indiscutibili punti di forza¹³:

1. in prima istanza, essa ci consente di distinguere tra funzioni genuine ed effetti secondari. Se infatti la funzione di un tratto biologico è l'effetto in virtù del quale quel medesimo tratto è stato selezionato, possiamo ad esempio affermare con sicurezza, che la funzione del guscio dei granchi è quella di proteggere le interiora, e non certo quella di favorire l'azione dei pescatori;
2. in seconda battuta, grazie a questa teoria, citare la funzione di uno specifico tratto biologico denota precisamente la ragione adattiva per cui quello stesso tratto è stato selezionato. In tal senso, per citare un ulteriore esempio, il manto chiazzato del leopardo è presente perché appunto favorisce il camuffamento del leopardo stesso durante la caccia¹⁴;

¹² Come si può notare, Neander presuppone che l'unità di selezione sia il genotipo, cioè l'insieme dei geni localizzati sui cromosomi. Tuttavia, quella dei cosiddetti "livelli di selezione" è una questione tutt'ora molto controversa: ci si domanda infatti se la selezione naturale agisca al livello delle specie, degli individui o, appunto, dei geni. Per un'introduzione a questo argomento, si veda Okasha (2006; 2019, 45-62).

¹³ Quelli che Neander ritiene essere i punti di forza della sua teoria sono gli obiettivi che si suppone debbano essere raggiunti da un'adeguata teoria delle funzioni biologiche. Si veda la nota 2.

¹⁴ A tal proposito, si veda l'interessante studio di Allen, Cuthill, Scott-Samuel e Baddeley (2010).

3. infine, essa ci consente di distinguere efficacemente tra funzioni e malfunzionamenti. I reni, ad esempio, servono a filtrare il sangue dai prodotti di scarto del metabolismo, ma a causa di una malattia potrebbero non svolgere più così efficacemente questa funzione. Di nuovo, la teoria degli effetti selezionati ci consente di distinguere tra funzioni primarie ed effetti secondari che non corrispondono direttamente a queste medesime funzioni, giacché non selezionati in virtù della loro utilità.

Tuttavia, a dispetto della sicurezza dell'autrice, le obiezioni rivolte contro la teoria degli effetti selezionati sono molteplici. Nel prosieguo del paragrafo, provvederemo a esaminarle una ad una.

Un primo ordine di obiezioni riguarda la dimensione esplicativa della teoria eziologica forte e cerca appunto di mettere in questione il fatto che essa possa davvero spiegare la presenza di un dato tratto biologico. Secondo alcuni filosofi della biologia (Cummins 1975, 2002; Nagel 1977; Cummins e Roth 2010), i sostenitori della teoria degli effetti selezionati fraintendono la natura del meccanismo darwiniano della selezione naturale: sono infatti convinti del fatto che esso possa render conto del motivo per cui un individuo possiede un dato tratto, quando invece la selezione naturale spiega soltanto la frequenza di quel medesimo tratto all'interno di una popolazione. Cerchiamo di comprendere quest'obiezione da un'altra prospettiva. Supponiamo che esista una zebra di nome Lea. Per quale motivo la zebra Lea possiede le strisce? Non grazie alla selezione naturale, secondo i critici della teoria eziologica forte, ma all'interazione fra il suo corredo genetico e l'ambiente di riferimento. Il motivo per cui la zebra Lea è dotata proprio di quei particolari geni è il meccanismo dell'ereditarietà, secondo cui gli esseri viventi sono in grado di trasmettere alla progenie le informazioni relative ai caratteri morfologici e fisiologici attraverso il patrimonio genetico. Dunque, la selezione naturale non sarebbe affatto la causa della presenza delle strisce, ma sarebbe semmai ciò che ne ha causato la stabilizzazione e la diffusione nella specie.

Ad ogni modo, i fautori della teoria eziologica forte possono comunque difendersi efficacemente da un'obiezione del genere (Neander 1988, 1995a, b). La loro risposta è la seguente: la selezione naturale non spiega soltanto la frequenza di un dato tratto all'interno di una popolazione, ma anche il motivo per cui un singolo membro di quella stessa popolazione possiede il tratto in esame. E tutto questo in virtù del seguente controfattuale: se infatti un simile meccanismo avesse agito diversamente al livello della popolazione di antenati delle zebre moderne, la nostra zebra, Lea, non

sarebbe certo riconoscibile per le sue strisce. Senza dimenticare un'ulteriore contro-obiezione (Garson 2016, 47): quando facciamo un'affermazione riguardante una funzione biologica – ad esempio, un'affermazione per cui la funzione delle strisce, nelle zebre, è quella di allontanare insetti e parassiti –, non stiamo cercando di spiegare perché una singola zebra possenga le strisce, ma per quale motivo le zebre in generale siano dotate di questa particolare caratteristica. E proprio su questo punto sono d'accordo, come abbiamo visto, anche i critici della teoria eziologica forte. Tanto che potrebbe sorgere il sospetto che essi abbiano frainteso la suddetta teoria, pensando che il suo obiettivo fosse quello di spiegare la presenza di certi tratti biologici unicamente nei singoli individui e non nella popolazione di appartenenza.

Un secondo ordine di obiezioni riguarda poi la dimensione normativa della teoria degli effetti selezionati. Secondo i fautori di quest'obiezione (in particolare Davies 2000, 2001, 2009), la suddetta teoria non riuscirebbe a spiegare con efficacia la possibilità che si verificano malfunzionamenti dei tratti biologici. Cerchiamo di comprendere meglio quest'argomentazione tramite l'esempio della struttura quadricamerale del cuore umano. Al giorno d'oggi, si ritiene molto probabile che i cuori che hanno una simile struttura siano stati selezionati a discapito di cuori tricamerati, di cuori ipertrofici e di sistemi passivi di ossigeno-diffusione, e che siano stati selezionati proprio in virtù della loro utilità¹⁵. Affinché a un cuore possa essere riconosciuta la specifica funzione di pompare il sangue, affermano i critici della teoria eziologica forte, esso deve assolutamente possedere quelle proprietà per le quali è appunto stato selezionato (struttura quadricamerale, assenza di ipertrofia, etc.)¹⁶. Consideriamo un individuo nato con un cuore avente una struttura tricamerale, cioè un individuo affetto sin dalla nascita da un disturbo conosciuto col nome di atresia tricuspide¹⁷: a tal proposito, quale

¹⁵ Per quanto riguarda i sistemi di ossigeno-diffusione, il fisiologo August Krogh (1941), utilizzando la legge di Fick, riuscì a mostrare quanto segue: se la distanza fra gli organi interni e la superficie respiratoria di un organismo è superiore a 0,5 mm, allora il trasporto di ossigeno per diffusione non è abbastanza veloce per provvedere al sostentamento degli organi stessi con appunto un sufficiente quantitativo di ossigeno.

¹⁶ In altre parole, al cuore può essere ascritta la specifica funzione di pompare il sangue solo nel caso in cui possenga quelle particolari proprietà che hanno garantito un pompaggio efficace in ambienti ancestrali.

¹⁷ L'atresia della tricuspide è un difetto cardiaco congenito che consiste nel mancato sviluppo della valvola tricuspide. Nella maggioranza dei casi, il sangue povero di ossigeno ritorna all'atrio destro tramite le vene cave e, attraverso le arterie polmonari, passa nel ventricolo destro che lo pompa verso i polmoni, dove viene ossigenato. Il sangue ricco di ossigeno ritorna quindi dai polmoni all'atrio sinistro, per poi passare al ventricolo sinistro e

sarebbe la posizione della teoria degli effetti selezionati? Per i sostenitori di questa teoria, un simile cuore avrebbe comunque la funzione di pompare il sangue all'interno del corpo, nonostante non riesca a svolgere affatto bene questa medesima funzione a causa dell'assenza della valvola tricuspide. E tuttavia, obiettano i critici della teoria eziologica forte, un cuore affetto da un disturbo del genere non può far certo parte della categoria dei cuori che hanno una struttura quadricamerale, i quali sono stati selezionati, ancora, proprio grazie a quella loro caratteristica. Anzi, a dire il vero la selezione naturale ha fatto sì che i cuori tricamerale divenissero man mano sempre più rari, e di conseguenza il cuore tricamerale dell'individuo considerato non può avere la funzione di pompare il sangue, dal momento che appunto non appartiene alla categoria dei cuori quadricamerale che posseggono una simile funzione. Dunque, un cuore tricamerale non sarebbe affetto da alcun genere di malfunzionamento (cfr. Garson 2016, 48-49).

Contrariamente a quanto sembrano ritenere alcuni suoi critici, però, la teoria eziologica forte non afferma che un tratto biologico ha una funzione se e solo se appartiene all'insieme dei tratti selezionati per svolgere quella medesima funzione; piuttosto, essa sostiene semplicemente che la funzione di un tratto non è altro che l'effetto in virtù del quale quello stesso tratto è stato selezionato. Ed è per questo che la teoria degli effetti selezionati ci permette di distinguere tra il funzionamento e il malfunzionamento di certi tratti biologici, cioè tra funzioni primarie ed effetti che invece non si configurano come la "norma storica" dei tratti considerati: è infatti possibile che un difetto genetico impedisca al nostro cuore di pompare il sangue con efficacia, così com'è certamente altrettanto possibile che un grave disturbo infiammatorio impedisca all'apparato digerente di svolgere adeguatamente la funzione per cui è stato selezionato in passato (cfr. Garson 2016, 49). Insomma, un cuore affetto da atresia tricuspide è comunque in grado di pompare il sangue all'interno dell'organismo, ma sfortunatamente non riesce a eseguire questa funzione così bene come un cuore quadricamerale – ed è

venire pompato nell'aorta. Nell'atresia della tricuspide, invece, la valvola non si è formata: al suo posto è infatti presente del tessuto fibroso che impedisce il passaggio del sangue povero di ossigeno dall'atrio destro al ventricolo destro. In altre parole, nell'atresia della tricuspide non c'è connessione tra atrio destro e ventricolo destro poiché, non essendosi affatto sviluppata la valvola tricuspide, non si è sviluppato nemmeno il ventricolo destro. La conseguenza della malformazione è dunque la seguente: il sangue venoso che arriva dalle vene cave nell'atrio destro, non potendo appunto entrare nel ventricolo destro, attraversa un difetto interatriale sempre presente e giunge nell'atrio sinistro dove si mescola con il sangue ossigenato proveniente dai polmoni, prima di passare nel ventricolo sinistro. Così, il sangue che giunge nell'aorta è costituito da una miscela di sangue arterioso e venoso, con una riduzione del flusso di sangue ai polmoni.

appunto per questa ragione che i bambini affetti da un simile disturbo necessitano di essere operati. Per dirla altrimenti, pur non mancando affatto di svolgere la sua funzione, un cuore tricamerale non è in alcun modo capace di eseguirla con la stessa efficacia dei cuori quadricamerale, i quali sono stati appunto selezionati in virtù di questa loro specifica caratteristica.

Un terzo ordine di obiezioni, infine, riguarda il fatto che la teoria eziologica forte non riuscirebbe a rispecchiare l'utilizzo che i biologi fanno del concetto di funzione. Nella pratica scientifica quotidiana non si farebbe alcun riferimento alla dimensione storica delle funzioni dei tratti biologici, ma soltanto agli effetti presenti, correnti di quei tratti (Horan 1989, 135; Godfrey-Smith 1994, 351; Walsh 1996, 558; Schlosser 1998, 304; Wouters 2003, 658; Sarkar 2005, 18; Griffiths 2006, 3). Consideriamo l'esempio seguente: gli ocelli presenti sulle ali delle farfalle servono a dissuadere i predatori o, piuttosto, a deviare il loro attacco dagli organi vitali? Quando l'entomologa Kathleen Prudic e i suoi colleghi (Prudic et al. 2015) iniziarono a indagare quale ipotesi fosse corretta, fecero accurate osservazioni sul ruolo degli ocelli. Quello che scoprirono fu che gli ocelli non hanno la funzione di spaventare i predatori, ma quella di evitare che gli organi vitali siano colpiti per primi. Il tutto senza fare il benché minimo riferimento al meccanismo della selezione naturale o alla storia evolutiva del tratto considerato.

Ciò non significa però che i biologi non facciano mai uso del concetto di funzione in un senso più vicino a quello della teoria eziologica forte. Pensiamo al biologo Tim Caro e al suo team di ricerca (Caro et al. 2014): indagando la funzione delle strisce nelle zebre, essi si sono domandati a più riprese quale fosse la ragione storica della loro presenza, ossia il motivo per cui in passato la selezione naturale avrebbe favorito l'emergenza proprio di quel tratto e non di un altro. Inoltre, ritenendo che la specifica funzione delle strisce fosse quella di allontanare gli insetti, essi non hanno mancato di indagare la distribuzione storica dei suddetti predatori. E ciò sarebbe assai strano se Caro e i suoi colleghi avessero desiderato semplicemente mostrare il funzionamento corrente delle strisce zebrate (cfr. Garson 2016, 34)¹⁸.

2.2. La teoria eziologica debole

I sostenitori della teoria eziologica debole (in particolare Buller 1998), così come gli esponenti della teoria eziologica forte, si pongono l'obiettivo di

¹⁸ La teoria di Caro e del suo team ha sì riscosso un buon successo, ma è stata comunque messa in discussione da altri biologi (in particolare Larison et al. 2015).

fornire spiegazioni causali della presenza dei tratti biologici. In altre parole, il loro scopo è quello di mostrare il motivo per cui certi tratti si trovano lì dove sono con la loro particolare funzione. Tuttavia, a tal riguardo, essi non ritengono che l'appello al meccanismo della selezione naturale sia di grande utilità. Anzi, la posizione della teoria eziologica debole è proprio questa: la funzione di un dato tratto biologico è l'effetto che in passato ha contribuito ad aumentare il vantaggio riproduttivo degli antenati che possedevano quel medesimo tratto (cfr. Garson 2016, 98). Come si può notare, una funzione biologica non viene qui esplicitamente definita attraverso il concetto di selezione naturale; piuttosto, i sostenitori della teoria eziologica debole sembrano voler definire le funzioni biologiche nei termini del loro contributo passato al vantaggio riproduttivo degli organismi considerati¹⁹.

Ma che cosa significa tutto questo, più precisamente? La suddetta teoria afferma che un tratto X, in un organismo Z, ha la funzione Y se e solo se valgono le seguenti quattro condizioni:

1. Alcuni degli antenati dell'organismo Z possedevano il tratto X.
2. Negli antenati di Z, il tratto X svolgeva la funzione Y.
3. La funzione Y del tratto X in esame ha contribuito ad aumentare il vantaggio riproduttivo degli antenati di Z in possesso di quello stesso tratto.
4. Il tratto X è stato ereditato dall'organismo Z.

Supponiamo ora di voler sapere per quale ragione la nostra zebra, Lea, abbia le strisce. Secondo la teoria eziologica debole, una spiegazione del genere avrebbe unicamente a che fare con il ruolo che le strisce stesse hanno rivestito negli antenati e nei genitori di Lea. Per utilizzare le parole di Garson: «le strisce hanno aiutato i genitori [di Lea] ad allontanare gli insetti, e questo ha loro consentito di sopravvivere più a lungo e dunque di riprodursi; grazie poi al meccanismo dell'ereditarietà, anche [Lea] è venuta in possesso delle strisce» (Garson 2016, 98). Insomma, la teoria eziologica debole sarebbe in grado di fornire spiegazioni causali della presenza di certi tratti senza fare alcun riferimento al concetto di selezione naturale²⁰.

Tuttavia, si può obiettare che quando facciamo un'affermazione sulla funzione di un tratto non stiamo affatto cercando di spiegare la sua presenza in un singolo organismo, quanto piuttosto la sua distribuzione all'interno di

¹⁹ A nostro avviso, come mostreremo a breve, non si può tuttavia definire una funzione biologica nei termini del suo vantaggio riproduttivo senza al contempo fare riferimento al concetto di selezione naturale.

²⁰ Per approfondire ulteriormente questo argomento, si veda Buller (1998, 520).

una popolazione. Per indagare una questione del genere non possiamo certo prescindere da un riferimento al meccanismo della selezione naturale: «se infatti le zebre sono dotate di strisce è solo perché le strisce medesime sono state selezionate in una popolazione di antenati delle zebre moderne» (Garson 2016, 99)²¹. Insomma, l'opinione secondo cui la funzione di un dato tratto biologico è precisamente l'effetto di quel tratto che ha favorito l'aumento del vantaggio riproduttivo negli antenati che lo possedevano implica comunque un riferimento, seppur indiretto, al concetto di selezione naturale: il successo riproduttivo è infatti nient'altro che una misura della *fitness*, dal momento che una caratteristica non può evolversi per selezione naturale se non si traduce in un contributo positivo alla riproduzione.

2.3. La teoria generalizzata degli effetti selezionati

La teoria generalizzata degli effetti selezionati è una versione ampliata della teoria eziologica forte sviluppata nel corso degli ultimi anni dal filosofo della biologia Justin Garson (Garson 2011, 2012, 2015, 2016, 2017). Secondo questa teoria, per avere una funzione riconoscibile, un tratto biologico deve aver attraversato un processo di selezione. Ma al contrario di quanto asserisce la teoria eziologica forte, Garson non ritiene che un simile processo debba avvenire esclusivamente nei termini della selezione naturale darwiniana, una selezione che agisce soltanto laddove siano presenti insiemi di organismi che si riproducono attraverso la trasmissione di informazioni genetiche da una generazione a quella successiva.

Per quanto la proposta di un ampliamento della nozione di selezione sia stata avanzata anche da altri filosofi della biologia (Wimsatt 1972, 14; Millikan 1984, 28; Papineau 1993, 44-48; Godfrey-Smith 1992, 292; Griffiths 1993, 419), tuttavia Garson non abbraccia direttamente nessuno di questi approcci. Quello che egli condivide con gli autori che lo hanno preceduto è soltanto la volontà di introdurre una nozione di selezione che possa essere applicata al di fuori dei contesti riproduttivi classici.

Più precisamente, l'idea di Garson può essere presentata nella maniera seguente:

²¹ Buller (1998) non ritiene che l'*explanandum* delle affermazioni funzionali debba riguardare il livello generale della popolazione di riferimento, ed è per questo motivo che rifiuta di richiamarsi al concetto di selezione naturale. Ma questa è un'assunzione che egli non giustifica in alcun modo.

La funzione di un dato tratto biologico consiste in quella particolare attività che ha condotto alla sua conservazione differenziale o alla sua riproduzione differenziale all'interno di una popolazione biologica. (Garson 2016, 58)

La prima parte di questa definizione è tesa a includere le forme di selezione non contemplate dalla teoria eziologica forte, cioè quelle forme di selezione in cui non avviene alcun genere di replicazione o riproduzione differenziale. La selezione neurale è un esempio tipico di questo tipo di selezione. Ora, seguendo Garson (in particolare 2017), esamineremo brevemente la selezione neurale delle sinapsi, dal momento che essa si configura come un caso di selezione neurale assai ben documentato in letteratura²². Com'è noto, i neuroni costituiscono i componenti fondamentali del tessuto nervoso e formano circuiti in grado di ricevere, elaborare, conservare e trasmettere le informazioni. Il trasferimento di informazioni tra le cellule nervose è operato dai neurotrasmettitori, il cui messaggio viene riconosciuto dalla cellula ricevente e tradotto in risposte biologiche in corrispondenza di una struttura specializzata nota col nome di sinapsi. In breve, le sinapsi non sono altro che il punto di contatto funzionale fra due cellule nervose. Il processo di selezione sinaptica inizia quando due o più neuroni “prendono di mira” uno stesso bersaglio, come ad esempio un altro neurone o una fibra muscolare. A quel punto, le sinapsi di ciascun neurone considerato si comportano in maniera differente: di conseguenza, «alcune di loro vengono conservate, mentre altre vengono eliminate definitivamente» (Garson 2017, 532). Insomma, vengono attivati solo alcuni collegamenti neuronali; ma come si può notare, le sinapsi stesse non sono coinvolte in alcun genere di replicazione differenziale. Nonostante ciò, alcune di loro persistono a discapito di altre. E la loro particolare funzione è precisamente «quella che ne ha garantito la conservazione» (Garson 2016, 58). La seconda parte della definizione della teoria di Garson, invece, contempla i casi tradizionali della teoria eziologica forte.

Come si può notare, la teoria di Garson, configurandosi come una versione estesa della teoria eziologica forte, non fa che vantare gli stessi meriti di quest'ultima: infatti, essa ci consente di spiegare la ragione per cui un tratto biologico è stato selezionato, di distinguere tra funzioni genuine ed effetti secondari e di individuare la dimensione normativa delle funzioni (si tenga a mente il paragrafo 2.1.). Tuttavia, contrariamente alla teoria eziologica forte, questa teoria è anche in grado di chiarire quei casi in cui sono riconoscibili delle vere e proprie funzioni senza che sia però

²² Per ulteriori esempi di selezione neurale, si vedano Edelman (1987) e Deppman et al. (2008).

intervenuto un processo classico di selezione naturale²³. Insomma, la teoria di Garson riesce a evitare le arbitrarie restrizioni della teoria eziologica forte, secondo la quale, per poter attribuire una funzione a un dato tratto biologico, quel medesimo tratto deve esser stato selezionato in seguito a un processo di selezione naturale.

In ogni caso, la teoria generalizzata degli effetti selezionati non è esente da obiezioni. Supponiamo di trovarci di fronte a una pila di sassi dal peso differente sulla riva del mare. Quando la marea sale e le onde si fanno più forti e frequenti, i sassi iniziano a cadere, e i primi a cadere sono ovviamente quelli più leggeri. Dunque, affermano i critici della teoria di Garson (in particolare Kingsbury 2008), pur essendo di fronte a un'evidente persistenza differenziale, non per questo possiamo attribuire ai sassi più pesanti una specifica funzione. Un simile controesempio sembrerebbe allora indicare la superiorità della teoria eziologica forte, giacché la clausola neanderiana rappresentata dalla selezione naturale non ne sarebbe affatto scalfita: i sassi, infatti, non si replicano né tantomeno si riproducono.

Come rispondere a quest'ultima obiezione? Una possibile via d'uscita potrebbe essere quella di far presente che i sassi non si configurano in alcun modo come entità biologiche, e che dunque il controesempio esaminato non fa che ricadere al di fuori del dominio della teoria generalizzata degli effetti selezionati (cfr. Garson 2016, 60-61)²⁴.

3. La teoria del ruolo causale

Come abbiamo avuto modo di notare, i sostenitori della teoria eziologica forte concordano sul punto seguente: se un biologo afferma che un dato tratto biologico X ha la particolare funzione Y, egli non fa altro che riferirsi alla storia evolutiva di quel medesimo tratto. Ora, nel Diciassettesimo secolo, il dottor William Harvey scoprì che la funzione del cuore è quella di pompare il sangue all'interno dell'organismo²⁵. Tuttavia, al tempo, la teoria della selezione naturale non era ancora stata proposta. Dunque, riferendosi alla funzione del cuore, Harvey non stava certo parlando dell'effetto in virtù

²³ Rispetto alla teoria eziologica debole, la teoria generalizzata degli effetti selezionati riesce davvero, qualora non sia coinvolta una riproduzione differenziale, a fare a meno del concetto classico di selezione naturale.

²⁴ Per una risposta differente si veda Matthewson (2015).

²⁵ Prima della scoperta di Harvey, si pensava che il movimento del cuore fosse causato dal torace e dai polmoni, e che un simile movimento fosse coinvolto nella produzione dei cosiddetti spiriti vitali. Quello che Harvey mostrò ai suoi contemporanei fu invece che la funzione del cuore è quella di pompare il sangue all'interno del corpo.

del quale il cuore stesso era stato selezionato in passato. Ma allora egli faceva uso del concetto di funzione biologica in un senso completamente differente da quello dei biologi contemporanei? O piuttosto non aveva alcuna idea di cosa significassero le sue parole?

Nessuna delle due ipotesi sembra difendibile in alcun modo²⁶, tanto che questa difficoltà ha indotto svariati filosofi della biologia ad abbracciare la cosiddetta teoria del ruolo causale, secondo cui possiamo parlare di funzioni biologiche solo nel momento in cui ci troviamo a indagare il funzionamento quotidiano di un sistema biologico (Cummins 1975; Amundson e Lauder 1994; Hardcastle 1999, 2002; Davies 2001; Craver 2001, 2013; Šustar 2007; Šustar e Brzovic 2014). In base a questa teoria, quando i biologi fanno affermazioni riguardanti le funzioni biologiche di certi tratti non desiderano affatto indagare la storia di quei medesimi tratti o ricostruire il processo che ha favorito la loro emergenza nella popolazione di riferimento; piuttosto, sono interessati a spiegare quale sia la loro funzione corrente. In questo senso, la teoria del ruolo causale non è interessata a raggiungere uno degli obiettivi canonici delle teorie della funzione biologica viste in precedenza, ossia quello di spiegare per quale motivo un tratto è presente in una data specie (si veda la sezione 1.). Così, le affermazioni sulle funzioni biologiche non fanno che rappresentare la maniera in cui un dato tratto biologico contribuisce all'emergere di una capacità complessa. Generalmente, queste stesse affermazioni hanno la seguente forma:

All'interno di un organismo Z, un dato tratto X ha la funzione Y se e solo se contribuisce a far emergere la capacità complessa C del sistema S considerato.
(Wouters 2003, 639)

In tal senso, la teoria del ruolo causale è in grado di rendere conto della posizione del dottor Harvey: egli, infatti, descrive la maniera in cui il cuore (X) di molti organismi (Z) contribuisce alla capacità di quegli organismi (S) di far circolare il sangue (C) attraverso il continuo pompaggio di quest'ultimo (Y).

Per un esempio più recente, si consideri la spiegazione di Kurt Schwenk (1994) riguardo l'esistenza della lingua biforcuta nei serpenti. Durante gli anni Venti e Trenta del secolo scorso, divenne man mano sempre più chiaro che la lingua dei rettili è coinvolta in processi di chemorecezione. Tuttavia, non si riusciva a comprendere per quale motivo la lingua dei serpenti avesse

²⁶ Infatti, anche se non possiamo scartare a priori l'idea che Harvey potesse riferirsi al concetto di selezione naturale pur senza averne un'idea precisa, è comunque assai difficile immaginare che egli avesse in mente qualcosa di simile.

una simile forma. L'ipotesi di Schwenk è che la lingua biforcuta abbia la funzione di campionare una o più sostanze chimiche in due punti diversi nello stesso momento, in maniera da poter appunto meglio seguire le prede che rilasciano quelle medesime sostanze. In altre parole, Schwenk descrive come la lingua (X) dei serpenti (Z) favorisca l'emergere della loro capacità (S) di seguire con precisione le tracce delle prede (C) attraverso un particolare tipo di campionamento (Y).

Inoltre, non mancano di precisare Cummins (1975) e Craver (2001), le affermazioni della teoria del ruolo causale sul funzionamento di certi tratti biologici sono connesse nientemeno che a una strategia esplicativa analitica. Per comprendere questo punto, prendiamo in considerazione l'esempio del sistema cardiocircolatorio. Uno dei compiti principali di questo sistema, nei vertebrati, è quello «di trasportare l'ossigeno, il diossido di carbonio e varie sostanze nutrienti» (Wouters 2003, 639). La capacità di svolgere questa mansione dipende strettamente dall'azione coordinata di quelle parti che compongono il sistema stesso (il cuore, i vasi sanguigni, il sangue etc.), le quali hanno appunto un ruolo ben preciso nel far emergere la capacità che stiamo considerando. Insomma, la capacità di un sottosistema, ad esempio il cuore, di svolgere il suo ruolo all'interno di un sistema complesso – in questo caso il sistema cardiocircolatorio – deve essere spiegata unicamente attraverso la scomposizione analitica di quello stesso sottosistema in altri sottosistemi, sino a raggiungere un livello in cui le capacità coinvolte siano così semplici da poter essere descritte nei termini delle loro caratteristiche fisico-chimiche. Come ha sostenuto Garson, dunque, «la funzione di un dato tratto, [secondo la teoria del ruolo causale], non è altro che il ruolo rivestito da quel medesimo tratto all'interno di una spiegazione funzionale di una capacità complessa» (Garson 2016, 83).

Tuttavia, i sostenitori della teoria del ruolo causale sono di fronte a un'evidente difficoltà. Ogni tratto, infatti, riveste un ruolo specifico in più contesti, in più sistemi, e risulta dunque assai problematico identificare una singola funzione per ogni tratto. Consideriamo nuovamente l'esempio del cuore, il quale, come abbiamo visto in precedenza, riveste un ruolo ben preciso all'interno del sistema cardiocircolatorio. A tal proposito, ecco, sarebbe assurdo negare che il cuore non abbia parte alcuna anche in un contesto diagnostico, dal momento che il suo battito può essere rilevato da uno stetoscopio. Senza dimenticare quei contesti giudiziari dove si fa uso della macchina della verità, e dove appunto un improvviso aumento della pressione sanguigna può suggerire che l'indagato stia mentendo. Insomma, sembrerebbe che il cuore abbia non una ma svariate funzioni, e proprio tante quante sono i sistemi in cui il cuore stesso può essere impiegato. Ma sarebbe

assai strano per un manuale di fisiologia annoverare tra le funzioni del cuore quella di produrre un rumore intermittente o quella di poter causare picchi di pressione repentini. In altre parole, pur riuscendo a giustificare la dimensione normativa delle funzioni biologiche – siamo infatti di fronte a un malfunzionamento quando un dato tratto non svolge la sua funzione all'interno del sistema considerato²⁷ –, la teoria del ruolo causale manca completamente di rendere conto della distinzione tra funzioni genuine ed effetti secondari, perché, come qualunque medico potrebbe testimoniare, la funzione primaria del cuore è quella di pompare il sangue all'interno dell'organismo, e non ad esempio quella di batter più forte di fronte a un qualche pericolo.

Per sbarazzarsi di questo problema, i sostenitori della teoria del ruolo causale seguono tutt'ora l'indicazione di Cummins, secondo cui «quando attribuiamo una funzione a un dato tratto ci riferiamo implicitamente a un contesto di nostro interesse» (Cummins 1975, 762), e non certo a tutti i contesti possibili in cui quel medesimo tratto potrebbe rivestire un ruolo specifico. Insomma, le funzioni sono sempre relative al sistema che stiamo indagando: se i biologi possono affermare che la funzione del cuore è quella di pompare sangue all'interno del corpo è solo perché sono esclusivamente interessati al funzionamento del sistema cardiocircolatorio²⁸. Tuttavia, come molti critici hanno sottolineato, questa strategia sembra rappresentare nient'altro che una soluzione *ad hoc*.

Comunque, anche volendo concedere che una simile risposta possa essere esente da contro-obiezioni, la teoria del ruolo causale deve fronteggiare un'ulteriore difficoltà. Per comprendere questo punto, consideriamo il caso del sistema termoregolatore nell'uomo: per intenderne il funzionamento, non possiamo far altro che conoscere le parti che lo costituiscono e le rispettive funzioni. E appunto la funzione di ogni elemento di questo sistema è il suo contributo al funzionamento del sistema stesso. Ad esempio, la funzione dei termorecettori dell'ipotalamo è quella di rilevare la temperatura del sangue, mentre invece la funzione delle ghiandole sudoripare è quella di produrre il sudore. Ma come ha sottolineato Samir Okasha, «quando studiamo il ruolo causale [di queste stesse ghiandole] all'interno del sistema termoregolatore non facciamo altro che assumere, a un livello implicito, che questo sistema “debba” raggiungere un

²⁷ A sostegno di quest'opinione, si vedano Godfrey-Smith (1993, 200) e Craver (2001, 72). Sono invece di tutt'altro avviso Neander (1991, 181), Davies (2001, 29) e Preston (1998, 224).

²⁸ Per approfondire la dimensione pragmatica della teoria del ruolo causale si vedano in particolare Hardcastle (1999, 2002) e Craver (2001, 2013).

obiettivo, quello di mantenere costante temperatura corporea» (Okasha 2019, 38). Quest'assunzione è giustificata solo nel caso in cui il sistema suddetto si sia evoluto, attraverso un lento processo di selezione naturale, appunto per assolvere quella funzione generale. Per dirla altrimenti, «possiamo identificare la funzione di un dato tratto col suo ruolo causale all'interno di un sistema complesso se e soltanto se quel medesimo sistema è il risultato della selezione naturale» (Okasha 2019, 38).

4. La teoria del vantaggio biologico

Come abbiamo avuto modo di notare al termine del paragrafo precedente, anche la teoria del ruolo causale, che pure era nata per costituirsi come un'alternativa rispetto alla teoria eziologica forte, non fa che poggiare su un'implicita considerazione della "storia", ossia su un tacito riferimento all'azione passata del meccanismo della selezione naturale. È per questo che alcuni filosofi della biologia, ritenendo che una teoria della funzione biologica debba occuparsi esclusivamente del funzionamento corrente dei tratti biologici, hanno aderito alla teoria del vantaggio biologico, secondo cui la funzione di un dato tratto consiste nel contributo ordinario che esso fornisce all'adattamento degli organismi che lo posseggono. Insomma, contrariamente alla teoria eziologica forte, la teoria del vantaggio biologico definisce le funzioni dei tratti biologici senza fare alcun riferimento alla loro storia evolutiva.

Il primo filosofo della scienza ad aver proposto una simile prospettiva, la quale ha annoverato più autori nel corso degli anni (ad es. Ruse 1971, 1973 a, b; Boorse 1976, 1977, 2002; Bigelow e Pargetter 1987; Walsh 1996; Wouters 2003), è stato John Canfield (1964): a suo avviso, infatti, possiamo affermare che la funzione di un dato tratto X è Y se e solo se gli organismi dotati di quel medesimo tratto hanno più probabilità di sopravvivere e di riprodursi rispetto a quelli che non lo posseggono. Nel prosieguo di questo paragrafo, ci occuperemo anzitutto delle versioni più note di questa teoria e delle relative obiezioni, mentre in un secondo momento cercheremo di capire se queste varianti rispondano positivamente ai tre *desiderata* di una teoria della funzione biologica che abbiamo provveduto a introdurre nel paragrafo 2.1.: la distinzione tra funzioni genuine ed effetti secondari di un tratto, la dimensione esplicativa delle funzioni biologiche e, infine, il loro aspetto normativo.

La formulazione originaria della teoria del vantaggio biologico proposta da Canfield, per quanto possa sembrar chiara in apparenza, non è tuttavia in

grado di respingere il seguente controesempio. Supponiamo che un soldato abbia riposto nel taschino della sua camicia militare una grossa moneta d'argento come portafortuna, e che un giorno questa stessa moneta sia riuscita a salvargli la vita fermando il proiettile di un cecchino. Ecco, stando alla suddetta versione della teoria, la funzione della moneta sarebbe quella di salvar vite, avendo essa appunto contribuito alla sopravvivenza di un individuo. Ma nessuno, tuttavia, sarebbe disposto ad accettare che sia questa la vera e propria funzione delle monete. Insomma, «una singola occorrenza positiva può sì favorire la buona salute di un organismo, ma questo non basta certo a far sì che quel beneficio occasionale possa esser considerato una funzione genuina, primaria» (Garson 2016, 68).

Per aggirare questa difficoltà, i sostenitori della teoria del vantaggio biologico hanno allora ritenuto di dover definire la funzione di un tratto nei termini del suo contributo “statistico”, cioè del contributo che generalmente quello stesso tratto offre, all'interno di una specie o di una popolazione, al vantaggio riproduttivo dell'organismo considerato. Dunque, la ragione per cui la funzione del cuore è quella di far circolare il sangue e non quella di emettere suoni rilevabili da uno stetoscopio è il fatto che il cuore medesimo, “tipicamente”, svolge quella funzione negli individui che beneficiano della sua azione, ossia delle sue contrazioni ritmiche. Il fatto talvolta grazie a uno stetoscopio il cuore possa salvare delle vite non significa quindi che la sua funzione sia quella di allertare i dottori tramite particolari variazioni del suo ritmo naturale.

L'idea che per definire una funzione biologica si debbano introdurre considerazioni statistiche è stata proposta per la prima volta da Christopher Boorse (1976, 1977, 2002). Egli definisce la funzione di un tratto biologico nei termini di quegli effetti che esso svolge tipicamente nelle specie che lo posseggono; talvolta, però, sembra preferire l'idea che le funzioni biologiche debbano essere identificate con il contributo offerto al raggiungimento di un obiettivo da parte di un dato sistema. Ma per quale motivo, allora, la teoria di Boorse non rientra fra le varianti della teoria del ruolo causale, che abbiamo esaminato nella sezione 3.? Perché a suo avviso, quando ci riferiamo a un contesto fisiologico, gli obiettivi rilevanti di un sistema divengono la sopravvivenza e la riproduzione, e dunque la funzione di un tratto biologico non può che essere quell'effetto che rafforza il vantaggio riproduttivo degli organismi considerati (Boorse 1976, 84; 1977, 555).

Tuttavia, Millikan (1984, 34) non ha mancato di notare il fatto che esistono funzioni che vengono svolte in maniera atipica, ossia funzioni che a rigor di logica non dovrebbero esser considerate tali in base alla teoria di

Boorse. Ad esempio, lo spermatozoo è la cellula gametica maschile responsabile della funzione riproduttrice dell'uomo, e proprio per questo il suo compito principale è quello di raggiungere l'ovulo della donna col fine di fecondarlo. Ma, com'è assai noto, la probabilità che tutti gli spermatozoi riescano a raggiungere questo obiettivo è assai bassa. In quale misura possiamo allora affermare che sia qualcosa di "tipico", per gli spermatozoi, fecondare un ovulo²⁹?

Come abbiamo suggerito all'inizio del paragrafo, esistono più versioni della teoria del vantaggio biologico. Rispetto alla proposta di Boorse, esse fanno tutte riferimento all'idea che un tratto biologico debba essere definito nei termini della sua propensione a venir selezionato³⁰. Più precisamente, questi approcci definiscono le funzioni biologiche nella maniera seguente, come suggerisce Garson:

Un dato effetto Y si configura come la funzione di uno specifico tratto biologico X se quello stesso effetto contribuisce, da un lato, ad aumentare il vantaggio riproduttivo dell'organismo considerato rispetto a certe alternative W e, dall'altro, a far sì che i tratti X di una popolazione P siano maggiormente propensi a essere selezionati rispetto alle suddette alternative. (Garson 2016, 70)

Siamo di fronte a una visione esplicitamente relazionale delle funzioni biologiche, una visione per cui la funzione di un dato tratto può essere identificata come tale soltanto in seguito a una comparazione con differenti tipologie di tratti. I più celebri sostenitori di questa opinione – Michael Ruse (1971, 1973a, b), John Bigelow e Robert Pargetter (1987) e Denis Walsh (1996) – sono però costretti ad affrontare un'obiezione che è stata loro mossa più e più volte nel corso del dibattito. Quando infatti si afferma che un dato tratto X produce un vantaggio riproduttivo all'interno di un organismo biologico, stando alla loro teoria, non facciamo che confrontare questo medesimo tratto con un tratto alternativo, differente. Ma quest'ultimo tratto, il quale è appunto oggetto della comparazione, si configura come un'alternativa reale o, piuttosto, si dà semplicemente come una possibilità immaginaria? E inoltre, esiste un modo per evitare di identificare questo stesso tratto in maniera non arbitraria³¹? Per

²⁹ Per un'opinione contraria rispetto a quella di Millikan, si vedano Boorse (2002, 92-93) e Garson (2016, 69-70).

³⁰ A questo medesimo riguardo, Garson (2016, 70) utilizza l'espressione di *selection-proneness*.

³¹ Si pensi anche al fatto che non sempre il concetto di vantaggio riproduttivo è utilizzato al modo di una nozione comparativa; anzi, il più delle volte questo concetto viene

comprendere queste obiezioni, vediamo l'esempio che segue. Secondo la teoria del vantaggio biologico proposta dai suddetti filosofi della biologia, per individuare la funzione della bile nei topi dobbiamo ipotizzare l'esistenza di un topo in cui la cistifellea, o colecisti, non produca affatto la bile, e chiederci se questo topo riesca a godere degli stessi benefici dei suoi simili. In una situazione simile, cioè in una situazione controfattuale, come potrebbe il topo digerire il cibo? Quale potrebbe essere la natura del suo apparato digerente? Insomma, capire se un topo senza cistifellea possa godere di un maggiore o un minore vantaggio riproduttivo rispetto ai topi che producono bile dipende essenzialmente dal modo in cui immaginiamo le sue fattezze, le sue particolarità, la sua ipotetica costituzione fisiologica.

Una strategia per ovviare a questa difficoltà potrebbe essere quella di accordarsi su un determinato insieme di varianti ipotetiche, introdotte caso per caso. Wouters (2003, 645), ad esempio, ritiene che si possa affermare con assoluta sicurezza che la funzione del cuore è quella di far circolare il sangue proprio perché ritiene che l'unica variante ipotetica su cui è possibile mettersi d'accordo sia rappresentata dai sistemi di ossigeno-diffusione³². Tuttavia, Wouters non fornisce alcun genere di criterio in base a cui poter individuare le varianti contestuali, e così non riesce a evitare l'insinuazione del relativismo funzionale. Sempre per Wouters, infatti, le strisce delle zebre hanno la funzione di allontanare gli insetti per il fatto che un simile vantaggio non spetterebbe in alcun modo a zebre monocolori. Ma che cosa ci impedisce di immaginare una zebra monocolori dotata di un tratto biologico grazie a cui essa potrebbe produrre una sostanza repellente? In questo caso, le strisce delle zebre che tutti conosciamo non avrebbero alcuna funzione, dal momento che non contribuirebbero ad aumentare in alcun modo il loro vantaggio riproduttivo rispetto alla zebra che abbiamo appena menzionato, una zebra in grado di respingere gli insetti attraverso l'effetto specifico di un tratto alternativo³³.

Per riuscire a evitare questo genere di difficoltà, e per cercare di non incappare nel relativismo funzionale (cfr. Garson 2016, 73), sarebbe utile seguire il saggio avvertimento di Ernest Nagel (1953, 1961), secondo cui, pur essendo vero che in linea di principio possiamo immaginare infinite alternative, dovremmo considerare l'effettiva storia evolutiva dei tratti che sono oggetto di studio: in questo modo, non dovremmo stabilire alcun

definito nei soli termini del numero di prole, senza alcun riguardo per eventuali comparazioni (cfr. Garson 2016, 72).

³² Si tenga a mente la nota 15.

³³ Per obiezioni simili, si veda Millikan (1989; 1993, 39). Per quanto invece riguarda una possibile risposta a queste obiezioni, si veda Wouters (2003, 655-57).

criterio in base a cui poter introdurre le varianti di comparazione, né tantomeno dovremmo preoccuparci di tutti quei controesempi che possono essere immaginati a prescindere dagli effettivi processi di selezione naturale che si sono verificati nel corso dei millenni (cfr. Campaner e Galavotti 2012)³⁴. Sfortunatamente, un'operazione del genere è proprio ciò che i sostenitori della teoria del vantaggio biologico desiderano evitare, giacché non credono che il ricorso alla storia dei processi evolutivi possa essere di alcun aiuto nel definire le funzioni biologiche.

Bigelow e Pargetter (1987, 192), da parte loro, devono affrontare un'ulteriore obiezione. Nel definire le funzioni biologiche, infatti, essi introducono una clausola che è del tutto assente nelle formulazioni di Ruse e Walsh, come ha sottolineato Garson:

Un tratto biologico X, [per Bigelow e Pargetter], ha la funzione Y quando non fa che aumentare il vantaggio riproduttivo di un organismo Z all'interno del suo habitat naturale. (Garson 2016, 71)

In questo modo, sembra che le funzioni biologiche siano relative soltanto a certi ambienti. Insomma, secondo questa formulazione della teoria del vantaggio biologico, il manto bianco degli orsi polari contribuisce al loro vantaggio riproduttivo soltanto quando si trovano nel circolo polare artico, e non certo quando si trovano all'interno di uno zoo. Per dirla altrimenti, un tratto favorisce il vantaggio riproduttivo degli organismi di riferimento solo all'interno di specifici ambienti. Ma in che modo possiamo definire, in maniera non arbitraria, questi stessi ambienti? Bigelow e Pargetter, a questo proposito, non forniscono alcun tipo di criterio, e tuttavia non mancano di suggerire che per individuare l'ambiente naturale degli organismi biologici dovremmo far riferimento a considerazioni storiche, studiando i luoghi abitati dalle specie prese in esame nel recente passato. Ma così facendo, come si può intuire, i due filosofi della biologia incappano in un paradosso: in quanto esponenti della teoria del vantaggio biologico, infatti, dovrebbero rifiutare di ricorrere a simili considerazioni, eppure non riescono a evitare di farlo. Secondo Garson e Piccinini (2014), per risolvere questo genere d'imbarazzo, Bigelow e Pargetter avrebbero potuto introdurre nella loro formulazione della teoria alcuni elementi statistici, mostrando che l'ambiente naturale degli organismi che possiedono un dato tratto biologico X è quell'ambiente in cui tipicamente questo stesso tratto ha la funzione Y,

³⁴ È sulla scorta di considerazioni siffatte che Nagel cerca di superare le critiche di Hempel alle spiegazioni funzionali. Per un'introduzione a questo dibattito, si veda Campaner e Galavotti (2012, 149-153).

e in cui appunto lo svolgimento di quest'ultima funzione favorisce il vantaggio riproduttivo dei suddetti organismi³⁵.

Tuttavia, una delle ragioni più forti che gli esponenti della teoria del vantaggio biologico portano a sostegno della loro posizione riguarda il fatto che nessun altro impianto teorico rifletterebbe così bene l'uso che i biologi fanno correntemente del concetto di funzione. E questo perché gli stessi biologi non farebbero mai alcun riferimento alla storia evolutiva dei tratti biologici. Ma che cosa significa tutto questo, più precisamente? Che cosa si intende quando si afferma che i biologi non si occupano affatto di "storia"? Ci sono almeno due modi di interpretare una simile pretesa. Per prima cosa, si potrebbe ritenere che i biologi, quando indagano le funzioni dei tratti biologici, non desiderino riferirsi esplicitamente al meccanismo della selezione naturale (cfr. Garson 2016, 75). Ma questo, comunque, non dimostrerebbe in alcun modo la necessità di ricusare un eventuale appello al concetto di selezione naturale per meglio definire le funzioni biologiche. Un secondo modo di intendere la suddetta pretesa, invece, potrebbe essere il seguente: quando i biologi devono decidere quale sia la miglior ipotesi circa la funzione di un tratto biologico, essi non fanno che osservare i benefici quotidiani che derivano dalla presenza di quel medesimo tratto. In altre parole, i biologi cercherebbero solo di capire quale sia il vantaggio biologico "presente" del tratto in esame, e una volta rinvenuto, ecco, il dibattito avrebbe immediatamente termine. Eppure, anche i biologi che sostengono la teoria degli effetti selezionati sono interessati a indagare i benefici "correnti" dei tratti biologici, e proprio perché ritengono che questa strategia sia il miglior modo per mostrare che quei tratti sono stati selezionati appunto in virtù dei loro effetti vantaggiosi per l'organismo (Caro et al. 2014; cfr. paragrafo 3.1.). Dunque, non possiamo certo concludere che la teoria del vantaggio biologico sia da preferirsi alle altre teorie della funzione biologica per il fatto di rispecchiar meglio, rispetto a queste, l'utilizzo del concetto di funzione da parte dei biologi.

Veniamo adesso all'ultima questione e cerchiamo di capire se la teoria del vantaggio biologico rispetti i tre particolari *desiderata* di una teoria della funzione biologica che abbiamo introdotto nel paragrafo 1.:

1. per quanto riguarda la distinzione tra funzioni primarie e accidenti, la suddetta teoria è perfettamente in grado di renderne conto. E infatti possiamo affermare che la vera funzione del naso è quella di aiutarci a respirare e non quella di sostenere degli occhiali proprio

³⁵ Per un'altra possibile soluzione, si vedano Walsh (1996) e Walsh e Ariew (1996).

perché quest'ultimo effetto non si configura in alcun modo come il contributo offerto tipicamente al vantaggio riproduttivo degli esseri umani³⁶;

2. tuttavia, la teoria del vantaggio biologico non può giustificare in alcun modo la dimensione esplicativa delle funzioni biologiche, dal momento che i benefici quotidiani di un tratto non bastano certo a motivarne l'esistenza. Insomma, questi benefici non si configurano come spiegazioni causali della presenza dei tratti considerati. A questo proposito, sarebbe necessario riferirsi al meccanismo della selezione naturale;
3. che dire, infine, dell'aspetto normativo delle funzioni biologiche? La teoria del vantaggio biologico è in grado o meno di renderne conto in maniera efficace? Sembrerebbe che il miglior modo di dirimere la questione sia, ancora una volta, quello di riferirsi a una semplice considerazione statistica: in tal senso, un dato tratto non

³⁶ Tuttavia, supponiamo di vivere in un ambiente in cui avere una vista fuori dal comune sia assolutamente essenziale per la sopravvivenza. In un ambiente come questo, insomma, possedere un'ottima vista genererebbe una differenza nella riproduzione differenziale degli esseri umani. Supponiamo inoltre che in un simile ambiente non esistano lenti a contatto, e che quindi avere un naso su cui poter appoggiare degli occhiali sia l'unico modo per vedere bene, nel caso in cui si sia affetti da disturbi della vista come la miopia. In base alla teoria del vantaggio biologico, allora, dal momento che l'effetto di consentire l'appoggio degli occhiali da parte del naso diverrebbe in questo ambiente un contributo offerto nella maggior parte dei casi al vantaggio riproduttivo, il naso inizierebbe a svolgere, oltre a consentire di respirare, anche quest'ultima funzione. Eppure, come si può notare, questo è un risultato teorico completamente controintuitivo: saremmo infatti costretti ad affermare che il naso non possiede soltanto la funzione primaria di permetterci di respirare, ma anche la funzione primaria di sostenere gli occhiali da vista. Quest'ultima funzione, però, sembrerebbe essere nulla più che un effetto secondario del naso, seppur utile in molti casi. In altre parole, pur consentendoci di distinguere efficacemente tra funzioni primarie e accidenti, la teoria del vantaggio biologico comporta purtuttavia il rischio di moltiplicare le funzioni primarie dei tratti biologici di volta in volta considerati (cfr. Garson 2016, 68). Consideriamo un altro esempio: l'airone nero, oltre che per volare, utilizza le sue ali per cacciare, dal momento che esse gli permettono di creare sulla superficie dell'acqua delle zone d'ombra dove i pesci tendono a concentrarsi. Appurato che un simile effetto conferisce un evidente vantaggio riproduttivo, in base alla teoria del vantaggio biologico saremmo quindi costretti a ritenere che una funzione primaria delle ali dell'airone nero è anche quella di creare zone d'ombra. Nondimeno, questo sembrerebbe essere nient'altro che un utile effetto secondario.

funzionerebbe correttamente nel caso non riuscisse a svolgere il suo effetto tipico, cioè l'effetto che tratti come quello non mancano di svolgere normalmente e correntemente (cfr. Walsh 1996, 568). Tuttavia, secondo il parere di chi scrive, una simile risposta è alquanto problematica. Supponiamo infatti che si verifichi una certa mutazione vantaggiosa M all'interno di una popolazione biologica, e che, almeno all'inizio, un solo organismo benefici di quella stessa mutazione. In base alla teoria del vantaggio biologico non possiamo affermare che i restanti membri della popolazione posseggano tratti mal funzionanti, dal momento che l'effetto vantaggioso svolto in seguito alla mutazione M non si è ancora diffuso all'interno di quella medesima popolazione. Supponiamo ora che sia trascorso del tempo e che in seguito a un processo di selezione naturale la mutazione vantaggiosa M sia occorsa nel 50% della popolazione considerata. Ora, anche in quest'ultimo caso possiamo dire che gli effetti della mutazione M non siano svolti tipicamente dal tratto che ne ha beneficiato? Sfortunatamente, i sostenitori della teoria del vantaggio biologico non hanno proposto un criterio in base al quale poter operare adeguatamente una simile distinzione, e dunque non è affatto chiaro in quale senso si possa parlare di malfunzionamento di un dato tratto biologico (cfr. Garson 2016, 78).

5. Eziologia e adattazionismo

Sino ad ora, abbiamo studiato le principali teorie della funzione biologica. Fra queste, come abbiamo visto, la teoria eziologica forte è l'unica che ha il merito di riuscire a rispettare i tre *desiderata* canonici del dibattito: essa, infatti, ci consente di distinguere efficacemente tra funzioni primarie ed effetti secondari, di capire il motivo per cui un tratto è stato selezionato, e di utilizzare un criterio in base al quale poter riconoscere malfunzionamenti e disfunzioni. Tuttavia, come vedremo più avanti in questo paragrafo, anche la teoria eziologica forte deve affrontare alcune obiezioni decisive. Di seguito ci occuperemo dunque di affrontare questa obiezione, dopo averne considerato brevemente l'origine storica.

In biologia evolutiva, l'adattamento è forse una delle maggiori evidenze: gli organismi, infatti, «si mimetizzano, sviluppano armi sofisticate per catturare le prede, hanno sistemi percettivi perfetti per la loro nicchia [e] inventano soluzioni ingegneristiche straordinarie come gli occhi [e] le

orecchie [...]» (Pievani 2005, 177). Eppure, il concetto di adattamento si è rivelato problematico sin dall'inizio per la teoria evuzionistica di Darwin. Come si poteva spiegare, invero, l'evoluzione di organi così elaborati e "perfetti" come l'occhio dei vertebrati o l'ala degli uccelli? Com'era possibile che ingranaggi tanto sofisticati fossero stati costruiti gradualmente dalla selezione naturale? Nel sesto capitolo dell'edizione del 1872 de *L'origine delle specie*, Darwin ammise apertamente il problema:

Confesso che sembra incredibilmente assurdo che la selezione naturale possa aver formato l'occhio, con tutti i suoi inimitabili congegni per regolare il fuoco a distanze differenti, per far entrare diverse quantità di luce, per correggere l'aberrazione sferica e cromatica. (Darwin 1859; trad. it. 1973, 229)

In una visione tipicamente darwiniana, la selezione naturale procede nella costruzione dell'organo attraverso una lunga serie di trasformazioni continue:

[...] La ragione mi dice che, se è possibile che esistono numerose gradazioni da un occhio perfetto e complesso a un altro molto imperfetto e semplice (ogni gradazione essendo utile al suo possessore); che, inoltre, l'occhio varia molto leggermente e che le variazioni sono ereditarie (e questo è certamente vero); e che una qualsiasi variazione o modificazione dell'organo può essere utile a un animale le cui condizioni di vita stanno mutando; allora la difficoltà di credere che, grazie alla selezione naturale, si possa formare un occhio perfetto e complesso, anche se insormontabile dalla nostra immaginazione, cessa di essere consistente. (Darwin 1859; trad. it. 1973, 229-230)

Tuttavia, la difficoltà di un simile ragionamento stava proprio nel giustificare il valore adattivo delle strutture intermedie. Le critiche non si fecero certo attendere: a cosa mai potrebbero infatti servire un abbozzo di occhio e uno schizzo di ala³⁷? Come ha scritto Telmo Pievani, «il risultato finale del processo ha un chiaro significato per la sopravvivenza, ma un embrione di occhio non può servire per vedere, [così come] il 5% di un'ala non basta per volare» (Pievani 2005, 183).

Per risolvere questo problema, Darwin introdusse il concetto di pre-adattamento. Un abbozzo di occhio non può affatto servire per vedere, e

³⁷ Le prime critiche alla teoria di Darwin centrate su questa difficoltà vennero da George Mivart nel 1871. Secondo Mivart, il problema del 5% di un'ala non era altro che un falso problema: a suo avviso, il 5% di un'ala non è mai esistito, e non è mai esistito perché le modificazioni, in una specie, si manifestano repentinamente seguendo piani strutturali prefissati. Darwin, ovviamente, non accettò mai una spiegazione di questo genere, cioè una spiegazione saltazionista: essa, infatti, negava l'efficacia gradualista della selezione naturale.

questo perché secondo il naturalista inglese «non può mai esistere un dispiegamento teleologico dell'organismo verso la costruzione di una forma la cui utilità sia solo nel futuro» (Pievani 2005, 183): la selezione naturale, infatti, non guarda certo al di là delle sue azioni, per così dire, ma soltanto ai vantaggi e agli svantaggi del presente. In altre parole, ecco, ciò che conta nell'evoluzione è che si dia una precisa continuità nel successo riproduttivo differenziale degli organismi considerati, e non che la funzione di un organo permanga come tale. Ciò significa, allora, che nei processi evolutivi non si verifica una corrispondenza diretta e necessaria tra strutture e funzioni:

Gli organi possono funzionare in più modi, possiedono cioè una “capacità intrinseca” ridondante. Una singola funzione potrà essere assolta da più organi, di modo che, all'occorrenza, uno di questi possa essere “cooptato” per nuovi utilizzi senza che la salute complessiva dell'organismo ne risenta [...]. Viceversa, un singolo organo potrà espletare più funzioni, alcune delle quali operative, altre soltanto potenziali, pronte per essere “reclutate” all'occasione [...]. (Pievani 2004, 23)

Insomma, Darwin non fa che ammettere la possibilità che si verifichino cambiamenti funzionali all'interno di una continuità strutturale, e dunque che esistano funzioni primarie – pre-adattamenti, appunto – e funzioni derivate attuali (cfr. Darwin 1859; trad. it. 1973, 233). Trattati selezionati per una certa funzione ancestrale possono esser quindi riconvertiti o, per meglio dire, riadattati per svolgere nuove funzioni:

I primi pesci erano privi di mascelle, come è possibile che un congegno così complicato composto di diverse ossa interconnesse, si sia evoluto dal nulla? Quel ‘dal nulla’ si dimostra in realtà solo un modo di dire. Le ossa erano già presenti nei predecessori, ma servivano ad altro, sostenevano un arco branchiale situato subito dietro la bocca. Erano ben disegnate per il loro ruolo respiratorio, erano state selezionate solo per questo e non “sapevano” nulla di qualsiasi funzione futura. Col senno di poi, si può dire che le ossa erano ammirevolmente pre-adattate a divenire mascelle. La complicata struttura c'era già, ma veniva usata per la respirazione anziché per la masticazione. (Gould 1977, 104)

Per dirla altrimenti, le funzioni biologiche possono cambiare radicalmente a prescindere dal fatto che si verifichino dei mutamenti nella struttura degli organi. E se non si fosse ammesso questo, ecco, Darwin avrebbe avuto di fronte a sé soltanto due strade egualmente inaccettabili: negare che gli stadi intermedi avessero una funzione primaria, e quindi negare che fossero stati fissati attraverso un processo di selezione naturale; oppure postulare una creazione improvvisa della forma finale, ricusando l'azione graduale della selezione. Per salvare il gradualismo, «Darwin fu costretto a offrire

all'evoluzione una notevole flessibilità funzionale» (Pievani, 2005, 184), per cui l'esistenza attuale di una struttura ben funzionante non si configura come la prova certa e sicura di un adattamento che dovesse finalisticamente corrisponderle sin dal passato.

Tuttavia, in molte teorizzazioni successive, e in particolare a partire dal programma neodarwinista³⁸, l'interpretazione della posizione di Darwin iniziò a subire un sostanziale mutamento: la selezione naturale non è più quel processo di vaglio delle strutture dimostrate più efficienti – ossia, tali da aumentare il vantaggio riproduttivo – nella lotta per la sopravvivenza, ma il meccanismo che modella direttamente gli adattamenti funzionali. In questo modo, «ogni caratteristica biologica [diviene] funzionale alla competizione genetica: in natura ogni cosa avrebbe [insomma] uno scopo, una finalità che ne giustificherebbe l'esistenza [...]» (Pievani 2004, 29). All'interno di questa nuova cornice teorica, una cornice che potremmo definire adattazionista, lo sviluppo di ciascun elemento degli organismi biologici sarebbe dovuto nientemeno che all'azione onnipervasiva della selezione naturale; inoltre, vi sarebbe un'equivalenza generale fra origine storica e utilità attuale delle strutture biologiche. In tal modo, «l'evoluzione non appare più come il risultato polimorfo e imprevedibile di percorsi contingenti, di adattamenti secondari e sub-ottimali, di bricolage imprevedibili, [ma come] il regno della necessità e di un'ottimalità adattiva di tipo finalistico» (Pievani 2004, 31).

Intorno alla fine degli anni Settanta, però, iniziò a emergere nel dibattito evoluzionistico una profonda insoddisfazione per questo genere di narrazioni adattazionistiche circa l'utilità di ogni struttura organica³⁹. In un famoso articolo del 1979, intitolato *The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm*, il paleontologo Stephen J. Gould e il biologo Richard Lewontin criticarono apertamente l'atteggiamento adattazionista tipico della maggior parte degli studiosi di biologia, i quali «assumono, spesso senza prove, che i tratti degli organismi abbiano sempre una funzione ben precisa» (Okasha 2019, 40), e soprattutto che quella funzione sia il risultato di un processo di selezione naturale che avrebbe agito sin dall'inizio in vista di quel fine. La teoria degli effetti selezionati che abbiamo esaminato nel paragrafo 2.1. «si basa proprio su questa premessa, cioè sull'idea che ogni tratto biologico si costituisca come un adattamento

³⁸ Per una specifica introduzione a questo argomento, si veda Pievani (2002).

³⁹ Si vedano, ad esempio, Stephen J. Gould e Richard Lewontin (1979), e anche Stephen J. Gould ed Elisabeth Vrba (1982).

funzionale» (Garson 2016, 55)⁴⁰. Eppure, nondimeno, ci sono varie ragioni per dubitare del fatto che quest'assunzione sia valida in ogni caso.

Consideriamo anzitutto l'esempio seguente: le piume degli uccelli, inizialmente, svolgevano una funzione di termoregolazione, e soltanto in un secondo momento sono state cooptate dalla selezione naturale al fine di migliorare le performance aerodinamiche. In altre parole, siamo di fronte a una funzione primaria modificatasi poi in un secondo momento. Dunque, qual è la funzione delle piume degli uccelli? Come possiamo identificare la funzione di questo tratto? Non possiamo semplicemente dire che la funzione delle piume sia l'effetto in base al quale esse sono state selezionate, perché altrimenti la loro funzione sarebbe nient'altro che quella di mantenere costante la temperatura corporea, quando invece le piume non posseggono più soltanto quell'unica funzione (cfr. Okasha 2019, 39).

In seconda battuta, si è ritenuto per molto tempo che il mento, negli esseri umani, fosse il risultato adattivo e diretto di un processo di selezione naturale. In tal senso, il mento si sarebbe evoluto per poter svolgere una funzione intimidatoria. Però, è pur vero che molti biologi hanno messo in discussione questa conclusione, tanto che oggi si ritiene che «il mento non sia altro che il risultato secondario del modo in cui sono disposti il cranio e le ossa della mascella» (Okasha 2019, 41; si veda anche Gould e Lewontin, 1979).

Inoltre, negli organismi possono darsi correlazioni genetiche per cui, avendo il tratto A, si avrà di conseguenza anche il tratto B⁴¹. Seguendo un efficace esempio di Okasha (2019, 41), supponiamo che le piante con fiori dai colori vivaci godano di un vantaggio selettivo rispetto a quelle più opache, dal momento che sono più attraenti per gli impollinatori; e anche che il colore vivace dei fiori sia correlato alla presenza di stami corti, presenza che non comporta alcun vantaggio selettivo. A tal proposito, se la selezione naturale favorisce maggiormente quelle piante che posseggono fiori dai colori più vivaci, ciò significa che, in maniera indiretta, essa favorirà anche quelle piante che hanno fiori con stami più corti. Ma allora sarebbe un errore cercare negli stami più corti un qualche indizio di un

⁴⁰ Il postulato principale della teoria degli effetti selezionati è infatti che ogni tratto di un organismo abbia una funzione ben definita, e che quella funzione sia il risultato di un processo di selezione naturale. Tuttavia, come vedremo a breve, non è affatto detto che ogni singola componente degli organismi biologici possieda una funzione direttamente modellata dalla selezione naturale.

⁴¹ Simili correlazioni sono possibili grazie al fenomeno del *linkage* genetico. In breve, geni vicini sul medesimo cromosoma tendano a essere ereditati insieme precisamente a causa della loro prossimità fisica, creando appunto delle correlazioni nei tratti associati a tali geni.

adattamento funzionale diretto, perché si tratta semplicemente di una correlazione genetica.

Ancora, in molti mammiferi la pelle d'oca si configura come una risposta adattiva, dal momento che essa può servire sia a non disperdere il calore sia a intimorire i nemici. Negli esseri umani, però, i peli sono troppo corti per poter svolgere queste due particolari funzioni. Dunque, non possiamo affermare che la pelle d'oca, in quest'ultimo caso, sia il risultato di una risposta adattiva diretta, e questo perché siamo semplicemente di fronte a un tratto vestigiale (cfr. Okasha 2019, 42).

Infine, prendiamo in considerazione un'ultima ragione. La struttura corporea tetrapodica è tanto diffusa che un adattazionista potrebbe essere incline a sostenere che la sua presenza sia interamente giustificata da ragioni funzionali. Tuttavia, attualmente si propende per la seguente spiegazione: «una volta che una simile struttura si è evoluta come tale, la selezione naturale non ha più potuto eliminarla» (Okasha 2019, 42-43). Allora, per spiegare perché il piano corporeo tetrapodico è così comune a livello tassonomico, non possiamo certo far riferimento al concetto di adattamento funzionale, giacché il suddetto piano si costituirebbe invece, piuttosto, come un sedimentato *vincolo di sviluppo*.

Per definire i caratteri sorti per una ragione indipendente dalla loro utilità attuale (la pelle d'oca, ad esempio), i paleontologi Gould e Vrba, in un saggio del 1982 dal titolo *Exaptation, a Missing Term in the Science of Form*, proposero di utilizzare appunto il concetto di *exaptation*, il quale indica l'insieme dei caratteri formati per una determinata ragione, o anche per nessuna ragione funzionale specifica, poi resisi disponibili alla selezione naturale per il reclutamento attuale. Come ha scritto Pievani:

L'ipotesi fu cioè quella di non considerare come *ad-aptations* (utili per, *ad*, la funzione attuale) tutti i casi in cui vi fosse un cambiamento sostanziale di funzione a parità di struttura: si parlò dunque di *ex-aptations* in tutti i casi in cui vi fosse una cooptazione, in vista di nuove funzioni, di strutture impiegate in passato per funzioni diverse o per nessuna funzione. (Pievani 2004, 30)

Negli ultimi anni, grazie all'operazione teorica di Gould, Lewontin e Vrba, molti evolucionisti sono divenuti consapevoli dei rischi connessi al tentativo di determinare con assoluta certezza quale sia la funzione dei singoli tratti biologici degli organismi (cfr. Okasha 2019, 43). Nonostante questo, però, i sostenitori della teoria degli effetti selezionati hanno mancato di prestare la dovuta attenzione a una svolta tanto importante (cfr. Pievani 2005, 50-51), e infatti non hanno ancora proposto una formulazione della loro teoria che

tenga conto delle obiezioni anti-adattazioniste e riesca quindi a evitarle in maniera adeguata.

6. Conclusione

Come abbiamo avuto modo di notare nei paragrafi precedenti, il dibattito riguardante il concetto di funzione in filosofia della biologia è ben lungi dall'essersi esaurito. Se a cavallo degli anni '80 e '90 le teorie principali del dibattito erano soltanto tre – la teoria eziologica forte, la teoria del ruolo causale e la teoria del vantaggio biologico –, ad arricchire ulteriormente la discussione, al giorno d'oggi, si sono aggiunte anche la teoria eziologica debole e la teoria generalizzata degli effetti selezionati.

Tuttavia, un simile dibattito non è soltanto intenso e vivace; invero, è anche assolutamente rilevante per le scienze biologiche medesime. Pensiamo ad esempio alle dispute contemporanee sul concetto di funzione in genetica, al tentativo di sequenziare gli elementi funzionali del genoma umano e allo sviluppo dell'optogenetica (Emiliani et al. 2015), una scienza emergente che si propone di indagare le proprietà funzionali dei neuroni. Inoltre, non dimentichiamo l'importanza che una riflessione approfondita sul concetto di funzione biologica potrebbe rivestire sia per la biomedicina sia per la psichiatria, contribuendo a delineare nuovi criteri di definizione dei disturbi fisici e mentali⁴².

Ma più in generale, come ha scritto Okasha – e non possiamo trovare parole migliori per concludere questo articolo –, «la riflessione filosofica sui concetti impiegati dalla biologia è di fondamentale importanza nel mondo contemporaneo: infatti, esaminandone il significato [...], la filosofia ci aiuta ad approfondire la nostra comprensione del mondo, e più precisamente la comprensione del mondo dipinto dalla biologia moderna» (Okasha 2019, 117).

Bibliografia

Allen W. L., Cuthill I. C., Scott-Samuel N. E., Baddeley R., 2010, «Why the Leopard Got its Spots: Relating Pattern Development to Ecology in Felids», in *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 278, pp. 1373–1380.

⁴² Per quanto riguarda il dibattito riguardante i concetti di funzione e disfunzione in filosofia della psichiatria, si rimanda a Lalumera (2018).

- Amundson R., Lauder G. V., 1994, «Function Without Purpose: The Uses of Causal Role Function in Evolutionary Biology», *Biology and Philosophy*, 9, pp. 443–469.
- Ayala F. J., 1968, «Biology as an Autonomous Science», *American Scientist*, 56, pp. 207–221.
- Ayala F. J., 1970, «Teleological Explanations in Evolutionary Biology», *Philosophy of Science*, 37, pp. 1–15.
- Bigelow J., Pargetter R., 1987, «Functions», *Journal of Philosophy*, 84, pp. 181–196.
- Boorse C., 1976, «Wright on Functions», *Philosophical Review*, 85, pp. 70–86.
- Boorse C., 1977, «Health as a Theoretical Concept», *Philosophy of Science*, 44, pp. 542–573.
- Boorse C., 2002, «A Rebuttal on Functions», in Ariew A., Cummins R., Perlman M. (eds.), *Functions: New Essays in the Philosophy of Psychology and Biology*, Oxford, Oxford University Press, pp. 63–112.
- Buller, D. J., 1998, «Etiological Theories of Function: A Geographical Survey», *Biology and Philosophy*, 13, pp. 505–527.
- Campaner R., Galavotti M. C., 2012, *La spiegazione scientifica. Modelli e problemi*, Bologna, Archetipo Libri.
- Canfield J., 1964, «Teleological Explanation in Biology», *British Journal for the Philosophy of Science*, 14, pp. 285–295.
- Caro T. et al., 2014, «The Function of Zebra Stripes», *Nature Communications*, 5, 3535.
- Craver C., 2001, «Role Functions, Mechanisms, and Hierarchy», *Philosophy of Science*, 68, pp. 53–74.
- Craver C., 2013, «Functions and Mechanisms: A Perspectivalist View», in Huneman P. (ed.), *Function: Selection and Mechanisms*, Dordrecht, Springer, pp. 133–158.
- Cummins R., 1975, «Functional Analysis», *Journal of Philosophy*, 72, pp. 741–765.
- Cummins R., 2002, «Neo-teleology», in Ariew A., Cummins R., Perlman M. (eds.), *Functions: New Essays in the Philosophy of Psychology and Biology*, Oxford, Oxford University Press, pp. 157–172.
- Cummins R., Roth M., 2010, «Traits Have Not Evolved to Function the Way They Do Because of a Past Advantage», in Ayala F. J., Arp R. (eds.), *Contemporary Debates in Philosophy of Biology*, Malden (MA), Blackwell, pp. 72–85.

- Cummins R., 2013. «Functions and Mechanisms. A Perspectivalist View», in Huneman P. (ed.), *Function: Selection and Mechanisms*, Dordrecht, Springer, pp. 133–158.
- Darwin C. R., 1859, *The Origin of Species by Means of Natural Selection*, London, John Murray (*L'origine delle specie*. Edizione originale integrale del 1859 ed appendici con le varianti dell'edizione del 1872, trad. it. di Celso Balducci, Roma, Newton Compton Editori, 1973).
- Davies P. S., 2000, «Malfunctions», *Biology and Philosophy*, 15, pp. 19–38.
- Davies P. S., 2001, *Norms of Nature: Naturalism and the Nature of Functions*, Cambridge (MA), MIT Press.
- Davies P. S., 2009, «Conceptual Conservatism: The Case of Normative Functions», in Krohs U., Kroes P. (eds.), *Functions in Biological and Artificial Worlds*, Cambridge (MA), MIT Press, pp. 127–146.
- Deppman D. et al., 2008, «A Model for Neuronal Competition During Development», *Science*, 320, pp. 369–373.
- Edelman G. M., 1987, *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*, New York, Basic Books.
- Emiliani V. et al., 2015, «All-Optical Interrogation of Neural Circuits», *Journal of Neuroscience*, 35, pp. 13917–13926.
- Garson J., 2011, «Selected Effects and Causal Role Functions in the Brain: The Case for an Etiological Approach to Neuroscience», *Biology and Philosophy*, 26, pp. 547–565.
- Garson J., 2012, «Function, Selection, and Construction in the Brain», *Synthese*, 189, pp. 451–481.
- Garson J., 2015, *The Biological Mind. A Philosophical Introduction*, London, Routledge.
- Garson J., 2016, *A Critical Overview of Biological Functions*, Dordrecht, Springer.
- Garson J., 2017, «A Generalized Selected Effects Theory of Function» *Philosophy of Science*, 84, pp. 523–543.
- Garson J., Piccinini G., 2014, «Functions Must be Performed at Appropriate Rates in Appropriate Situations», *British Journal for the Philosophy of Science*, 65, pp. 1–20.
- Godfrey-Smith P., 1992, «Indication and Adaptation», *Synthese*, 92, pp. 283–312.
- Godfrey-Smith P., 1993, «Functions: Consensus Without Unity», *Pacific Philosophical Quarterly*, 74, pp. 196–208.
- Godfrey-Smith P., 1994, «A Modern History Theory of Functions», *Nous*, 28, pp. 344–362.

- Gould S. J., Lewontin R. C., 1979, «The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Program», *Proceedings of the Royal Society*, London, 205, pp. 581–598.
- Gould S. J., Vrba E., 1982, «Exaptation, a Missing Term in the Science of Form», *Paleobiology*, 8 (1), pp. 4–15.
- Graziani E., 2020, «Senso comune e metodo filosofico», *APhEx*, 21, pp. 1–48.
- Griffiths P. E., 1993, «Functional Analysis and Proper Function», *British Journal for Philosophy of Science*, 44, pp. 409–22.
- Griffiths P. E., 2006, «Function, Homology, and Character Individuation», *Philosophy of Science*, 73, pp. 1–25.
- Hardcastle V. G., 1999, «Understanding Functions. A Pragmatic Approach», in Hardcastle V. G. (ed.), *Where Biology Meets Psychology: Philosophical Essays*, Cambridge (MA), MIT Press, pp. 27–43.
- Hardcastle V. G., 2002, «On the Normativity of Functions», in Ariew A., Cummins R., Perlman M. (eds.), *Functions: New Essays in the Philosophy of Psychology and Biology*, Oxford, Oxford University Press, pp. 144–156.
- Horan B., 1989, «Functional Explanations in Sociobiology», *Biology and Philosophy*, 4, pp. 131–158.
- Kingsbury J., 2008, «Learning and Selection», *Biology and Philosophy*, 23, pp. 493–507.
- Krogh A., 1941, *The Comparative Physiology of Respiratory Mechanisms*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press.
- Lalumera E., 2018, «Filosofia della psichiatria», *APhEx*, 17, pp. 1–22.
- Larison B. et al., 2015, «How the Zebra Got Its Stripes: A Problem With Too Many Solutions», *Royal Society Open Science*, DOI: 10.1098/rsos.140452.
- Matthewson J., 2015, «Defining Paradigm Darwinian Populations», *Philosophy of Science*, 82, pp. 178–197.
- Millikan R. G., 1984, *Language, Thought, and other Biological Categories*, Cambridge (MA), MIT Press.
- Millikan R. G., 1989, «In Defense of Proper Functions», *Philosophy of Science*, 56, pp. 288–302.
- Millikan R. G., 1993, *White Queen Psychology and Other Essays for Alice*, Cambridge (MA), MIT Press.
- Nagel E., 1953, «Teleological Explanation and Teleological Systems», in Ratner S. (ed.), *Vision and Action*, New Brunswick (NJ), Rutgers University Press, pp. 537–558.

- Nagel E., 1961, *The Structure of Science*, New York, Harcourt, Brace and World.
- Nagel E., 1977, «Teleology Revisited: Goal Directed Processes in Biology and Functional Explanation in Biology», *Journal of Philosophy*, 74, pp. 261–301.
- Neander K., 1983, *Abnormal Psychobiology*, Dissertation, La Trobe.
- Neander K., 1988, «What Does Natural Selection Explain? Correction to Sober», *Philosophy of Science*, 55, pp. 422–426.
- Neander K., 1991, «Functions as Selected Effects: The Conceptual Analyst's Defense», *Philosophy of Science*, 58, pp. 168–184.
- Neander K., 1995a, «Pruning the Tree of Life», *British Journal for the Philosophy of Science*, 46, pp. 59–80.
- Neander K., 1995b, «Explaining Complex Adaptations: A Reply to Sober's 'Reply to Neander'», *British Journal for the Philosophy of Science*, 46, pp. 583–587.
- Okasha S., 2006, *Evolution and the Levels of Selection*, Oxford, Oxford University Press.
- Okasha S., 2019, *Philosophy of Biology. A Very Short Introduction*, Oxford, Oxford University Press.
- Papineau D., 1993, *Philosophical Naturalism*, Oxford, Blackwell.
- Pievani T., 2004, «Exaptation: la biologia dell'imprevedibile», in Barbetta P., Capararo M., Pievani T. (a cura di), *Sotto il velo della normalità. Per una teoria alternativa dei sistemi di cura della mente*, Roma, Meltemi Editore, pp. 13–143.
- Pievani T., 2005, *Introduzione alla filosofia della biologia*, Roma-Bari, Laterza Editore.
- Preston B., 1998, «Why is a Wing Like a Spoon? A Pluralist Theory of Function», *Journal of Philosophy*, 95, pp. 215–254.
- Prudic K. L. et al., 2015, «Eyespots Deflect Predator Attack Increasing Fitness and Promoting the Evolution of Phenotypic Plasticity», *Proceedings of the Royal Society B*, 282, 20141531.
- Ruse M. E., 1971, «Functional Statements in Biology», *Philosophy of Science*, 38, pp. 87–95.
- Ruse M. E., 1973a, «A Reply to Wright's Analysis of Functional Statements», *Philosophy of Science*, 40, pp. 277–280.
- Ruse M. E., 1973b, *The Philosophy of Biology*, Atlantic Highlands (NJ), Humanities Press.
- Sarkar S., 2005, *Molecular Models of Life*, Cambridge (MA), MIT Press.

- Schlosser G., 1998, «Self-Re-Production and Functionality: A Systems-Theoretical Approach to Teleological Explanation», *Synthese*, 116, pp. 303–354.
- Schwenk K., 1994, «Why Snakes Have Forked Tongues», *Science*, 263, pp. 1573–1577.
- Šustar P., 2007, «Neo-functional Analysis: Phylogenetical Restrictions on Causal Role Functions», *Philosophy of Science*, 74, pp. 601–615.
- Šustar P., Brzović Z., 2014, «The Function Debate: Between ‘Cheap Tricks’ and Evolutionary Neutrality», *Synthese* 191, pp. 2653–2671.
- Walsh D. M., 1996, «Fitness and Function», *British Journal for the Philosophy of Science*, 47, pp. 553–574.
- Walsh D. M., Ariew A., 1996, «A Taxonomy of Functions», *Canadian Journal of Philosophy*, 26, pp. 493–514.
- Wimsatt W. C., 1972, «Teleology and the Logical Structure of Function Statements», *Studies in the History and Philosophy of Science*, 3, pp. 1–80.
- Wouters A., 2003, «Four Notions of Biological Function», *Studies in the History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 34, 633–668.
- Wright L., 1973, «Functions», *The Philosophical Review*, 82, 2, pp. 139–168.
- Wright L., 1976, *Teleological Explanations*, Berkeley (CA), University California Press.

APhEx.it è un periodico elettronico, registrazione n° ISSN 2036-9972. Il copyright degli articoli è libero. Chiunque può riprodurli. Unica condizione: mettere in evidenza che il testo riprodotto è tratto da www.aphex.it

Condizioni per riprodurre i materiali --> Tutti i materiali, i dati e le informazioni pubblicati all'interno di questo sito web sono "no copyright", nel senso che possono essere riprodotti, modificati, distribuiti, trasmessi, ripubblicati o in altro modo utilizzati, in tutto o in parte, senza il preventivo consenso di APhEx.it, a condizione che tali utilizzazioni avvengano per finalità di uso personale, studio, ricerca o comunque non commerciali e che sia citata la fonte attraverso la seguente dicitura, impressa in caratteri ben visibili: "www.aphex.it". Ove i materiali, dati o informazioni siano utilizzati in forma digitale, la citazione della fonte dovrà essere effettuata in modo da consentire un collegamento ipertestuale (link) alla home page www.aphex.it o alla pagina dalla quale i materiali, dati o informazioni sono tratti. In ogni caso, dell'avvenuta riproduzione, in forma analogica o digitale, dei materiali tratti da www.aphex.it dovrà essere data tempestiva comunicazione al seguente indirizzo (redazione@aphex.it), allegando, laddove possibile, copia elettronica dell'articolo in cui i materiali sono stati riprodotti.

In caso di citazione su materiale cartaceo è possibile citare il materiale pubblicato su APhEx.it come una rivista cartacea, indicando il numero in cui è stato pubblicato l'articolo e l'anno di pubblicazione riportato anche nell'intestazione del pdf. Esempio: Autore, *Titolo*, <<www.aphex.it>>, 1 (2010).
