



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA, SOCIOLOGIA, PEDAGOGIA E PSICOLOGIA APPLICATA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE FILOSOFICHE

*LA TELEONOMIA QUALE FORMA DELLA FINALITÀ:
UN'ANALISI NELLA BIOLOGIA TEORICA CONTEMPORANEA*

Relatore:

Prof. Luca Illetterati

Laureando:

Marco Di Tommaso

Matricola 1202347

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Indice

Introduzione	1
I. Teleonomia, un nuovo modello di finalità biologica	3
1.1 Breve storia e lineamenti della teoria sintetica dell'evoluzione	5
1.2 Pittendrigh: invenzione e caratteri della teleonomia.....	12
1.3 Prima diffusione e fortuna della 'nuova teleologia'	19
II. Programmi e fini: Mayr e il problema del teleologico	37
2.1 Profilo teorico dell'opera di Mayr	38
2.2 La teleologia nel modello biologico della causalità.....	48
2.3 Una teleonomia <i>stricto sensu</i> fra processi, programmi e strutture	58
III. Agenzia e teleologia dei processi teleonomici	79
3.1 Ruolo e tensioni delle immagini informatiche in biologia	80
3.2 <i>Pars destruens</i> : agenti e azione nei programmi teleonomici.....	96
3.3 <i>Pars destruens</i> : fine e direzionalità del processo e il suo programma.....	103
Conclusione	117
Bibliografia	

Introduzione

Questa tesi magistrale, nei limiti del *focus* dell'analisi e del grado di approfondimento che è riuscita a conseguire, ambisce a riproporre il tema dei fini naturali o, detto altrimenti, di una forma di finalità che si possa rivendicare profondamente e di diritto come naturale. Come è evidente, fini, scopi o intenzioni implicano una costellazione di concetti, di esempi e di realtà accessibili ed esprimibili già nelle esperienze quotidiane – un modello di riferimento provvisorio è in tal senso quello dell'agire umano, morale, consapevole o volontario – e pertanto si prestano a discorsi che spaziano dall'etica alla psicologia e alla sociologia. Nondimeno, nella storia del pensiero sono stati designati fini anche quegli aspetti o veri e propri oggetti dell'universo che, appunto come gli scopi di un comportamento intenzionale, istruiscono e spiegano *ex post* il darsi di un fenomeno, presentandone la stessa struttura logica e ontologica. Più che un antropomorfismo, sarebbe forse corretto riconoscerli come un dominio del reale – o, almeno, un dominio all'interno della descrizione teorica del reale – di cui le azioni e la progettualità umane costituiscano un caso particolare ma non esclusivo. Anzi, rovesciando un'accusa di questo genere, è solo l'esistenza di una qualche sorta di finalità naturale a permettere che, in un certo e ben determinato ambito della natura quale sono gli uomini, emergano i comportamenti orientati e consapevoli che l'antropologia distingue meglio. Se però i fini sono spesso rientrati in una più ampia teoria della natura, dall'Era Moderna i filosofi e gli studiosi che hanno alimentato la cosiddetta Rivoluzione Scientifica sembra abbiano risolutamente liberato la loro visione dell'universo da simili strutture. Le scienze contemporanee, eredi di questa lunga tradizione di pensiero, le privano di un ruolo causalmente significativo a meno di non riportarle a cause meccaniche oppure, da un altro punto di vista, a meno di non giudicarle espedienti espressivi e metodologici. Differentemente che fisica e chimica, la biologia appare tuttavia restia ad abbandonare se non altro formule e nozioni teleologiche, che contrassegnerebbero in un modo o in un altro aspetti essenziali dei fenomeni in cui è coinvolto il vivente. Al tempo stesso, il suo statuto di scientificità

dovrebbe posare sull'esclusione di principio delle cause finali dal proprio campo di indagine, pena il riconoscimento di elementi variamente sovranaturali, antropomorfici od occulti. È parso allora interessante, alla luce di simili considerazioni, restringere la questione dei fini naturali in misura progressiva, concentrandosi innanzitutto su quello che, nel passato recente della disciplina, appunto i biologi hanno ritenuto di poter concedere alla teleologia. Nel Capitolo I, inserendola dentro il contesto della teoria dell'evoluzione, si delineano i tratti della teleonomia: il concetto, nell'intento dei ricercatori che lo hanno proposto e sviluppato, dovrebbe fornire alla scienza un modo legittimo di parlare della finalità, malgrado sia rigorosamente antiteleologico. Di rilievo in questo caso è che l'esigenza di rivedere le posizioni in merito alla apparente finalizzazione degli organismi viventi non scaturisca da una speculazione filosofica, quanto da scienziati impegnati a gettare nuove basi concettuali alle proprie ricerche. Ernst Mayr, zoologo ed evoluzionista tra i più importanti, non è che uno degli autori che partecipano al dibattito intorno alla teleonomia, ma il peso delle sue opinioni e l'attenzione che ha dedicato al problema consentono di illuminare particolarmente bene i nodi teoretici in gioco. Nel Capitolo II, dopo aver presentato la figura di questo autore, si ripercorrono quindi le argomentazioni che lo hanno condotto a elaborare una versione della teleonomia insieme personale, rigorosa ed eloquente circa i suoi obiettivi epistemologici. Incardinati come sono sull'azione dei programmi genetici, i comportamenti teleonomici così descritti, pur non corrispondendo forse alla stragrande maggioranza delle caratterizzazioni di questa nozione, ne esibiscono in maniera lucida le istanze e le ambizioni e si possono perciò considerare il centro di interesse di questa tesi. Discusse e criticate da subito, il loro fianco scoperto è forse appunto quello del programma: nel Capitolo III, in conclusione, si tenta allora di ponderare questa forma di quasi finalità sotto il profilo del suo carattere parameccanico – derivato dall'ingresso in biologia di immagini informatiche e cibernetiche –, sotto quello della sua agenzia e sotto quello di una teleologia *lato sensu*. L'interrogativo, difatti, è se nel descrivere un fenomeno di finalizzazione reale, parziale o apparente la teleonomia a programma genetico risulti coerente con i suoi postulati e convincente o, in altri termini, se e come questa sia una forma di finalità naturale biologica. Nonostante non si ignori la rilevanza dell'aspetto propriamente epistemologico del tema – cioè, la tenuta e l'opportunità del linguaggio teleologico e la sua analisi –, si è voluto pertanto insistere sulla portata ontologica della questione, in genere non indicata in modo espresso e però consistente.

I

Teleonomia, un nuovo modello di finalità biologica

Che, almeno in apparenza, la vita e gli organismi viventi siano opportunamente descritti servendosi di concetti teleologici, è una questione di fondo che interessa i biologi contemporanei sia quando la vogliono smentire e dimostrare non scientifica sia quando la vogliono accettare in modo critico. In una nota immagine, variamente attribuita, il ricorso a fini, scopi e funzioni è stato paragonato per la biologia come a un'amante, che disturba e crea imbarazzo in pubblico, ma di cui al tempo stesso non si può fare a meno. Ideale modello di riferimento – polemico o invece ispiratore – sono l'opera e la riflessione aristoteliche¹, che tanto si spendono sui problemi e i fenomeni del vivente e che devono loro un ricco panorama di esempi e spunti teoretici. Tuttavia per Aristotele il fine e il «ciò in vista di cui» sono una categoria imprescindibile nell'analisi di un ente – qualcosa di cui si deve rendere ragione e che di converso spiega, causalmente parlando – e il particolare modo di essere delle cose che vivono esige appunto questo tipo di dimensione teorica e ontologica. La filosofia naturale moderna, viceversa, si impegna in una profonda e consapevole esclusione delle cause finali mentre tratteggia la propria immagine del mondo, quantomeno nella fisica, e l'imporsi della scienza – nella sua versione di meccanica – quale paradigma conoscitivo generale ha portato al più al riconoscimento della teleologia

¹ JOHNSON MONTE R., *Aristotle on Teleology*, Oxford 2005 conti come un particolare ma sistematico tentativo di ripercorrere trasversalmente il pensiero di Aristotele alla luce della sua teleologia, confrontandosi con i commentatori antichi e moderni e proponendone infine un'interpretazione originale. Opere centrali fra le altre sono in tal senso la *Metafisica*, la *Fisica* e gli altri scritti naturali (per esempio, la *Generazione degli animali* e le *Parti degli animali*), l'*Anima*, l'*Etica nicomachea* e l'*Etica eudemia*. Si dispiega allora la costellazione dei fenomeni e pertanto dei concetti teleologici: l'*hoû héneka* o «in vista di che»; il *methèn máten* o «niente invano»; il *télos* e suoi correlati semantici, «fine», «limite» e «completo»; l'*érgon*, *enérgeia* e *entelécheia* ossia «atto», «funzione» e «stato di compiutezza»; quindi, l'*agathón* e *kalón* e loro forme comparative e superlative, «buono» e «bello». Questo glossario viene per esempio sottilmente ricostruito e approfondito nel Cap. III, *Nozioni teleologiche*, pp. 64-93: al di là dei più specifici obiettivi argomentativi di Johnson, la complessità del tema rende così fortemente problematico il richiamo positivo o negativo ad Aristotele, da parte già di commentatori e pensatori a lui debitori. Delicato, in particolare, risulta l'approccio alle concezioni aristoteliche portato avanti da scienziati.

Qui e oltre, dove non riportata la versione italiana di riferimento delle opere citate, la traduzione è da intendersi mia.

come di una pratica intellettuale forse ineludibile e però meramente euristica². Se Kant è arrivato a un simile esito³, la teoria dell'evoluzione di Darwin pare a molti essere riuscita a dismettere anche questo residuo di finalità dal campo di indagine delle scienze naturali, perché propone una spiegazione della comparsa, sopravvivenza e trasformazione delle specie che piuttosto che servirsi della teleologia sembra gettare luce sulle ragioni e della sua illusorietà e della sua apparente fondatezza. Fin da subito però naturalisti, biologi ed evoluzionisti di vario interesse si sono divisi, a questo riguardo, su come valutare il portato delle idee darwiniane, come emendarlo o come migliorarlo ulteriormente⁴. Questo

² JOHNSON, *Aristotle on Teleology* cit., p. 24 riporta a proposito le parole dello storico della scienza francese Alexandre Koyré: «la scomparsa – o distruzione – del cosmo vuol dire che il mondo della scienza, il mondo reale, non è più visto o concepito come un tutto finito e gerarchicamente ordinato, quindi differenziato qualitativamente e ontologicamente, bensì come un universo aperto, indefinito e persino infinito, unito non dalla sua struttura immanente ma soltanto dall'identità dei suoi contenuti e leggi fondamentali... Ciò, a sua volta, implica la scomparsa – o la violenta espulsione – dal pensiero scientifico di tutte le considerazioni basate su valore, perfezione, armonia, significato e scopo, perché questi concetti, da ora in avanti *puramente soggettivi*, non possono avere un posto nella nuova ontologia. O, per metterla in altri termini: tutte le cause formali e finali in quanto modi di spiegazione scompaiono – o sono respinti – dalla nuova scienza e vengono sostituite da quelle efficienti o addirittura materiali. Solo queste ultime hanno libero corso e ne è ammessa l'esistenza nel nuovo universo della geometria ipostatizzata» (KOYRÉ ALEXANDRE, *The Significance of the Newtonian Synthesis, The Journal of General Education* 4.4 1950, pp. 256-268). Per esempio, rilevante fu la presa di posizione di Francis Bacon, René Descartes e Baruch Spinoza, contro la Scolastica e il suo aristotelismo. Eppure, questi e altri importanti personaggi della Rivoluzione Scientifica, per un verso, non sembra rigettarono *in toto* la nozione di fine dal loro pensiero e, per l'altro, tesero a semplificare anche retoricamente la varietà delle opinioni circa la teleologia già presenti fra gli scolastici e gli aristotelici loro contemporanei. Così ancora JOHNSON, *Aristotle on Teleology* cit., pp. 23-30.

³ JOHNSON, *Aristotle on Teleology* cit., pp. 31-34 sviluppa una rapida disamina del ruolo che la teleologia svolge dentro la *Critica del giudizio* kantiana: apparentemente il vivente non è comprensibile dal punto di vista meccanico, che è paradigma della scientificità, cosicché se ne determina una antinomia della tesi per cui «ogni generazione di cose materiali è possibile secondo leggi semplicemente meccaniche» e dell'antitesi per cui invece «alcune generazioni delle medesime cose non sono possibili secondo leggi semplicemente meccaniche». Siccome le due proposizioni si contraddirebbero al livello della capacità legislativa della ragione, l'antinomia rimane in realtà allo stadio precedente della «dialettica di teleologia e meccanicismo». «Quindi la teleologia è di valore euristico per l'indagine naturale. Si deve render conto della natura “finché possibile”... su fondamenti meccanici, ma nei casi in cui non riusciamo ad andare oltre, e perciò dobbiamo invocare cause finali (cioè nel caso degli organismi), siamo legittimati a farlo per assistere la nostra riflessione su di essi». In KANT IMMANUEL, *Critik der Urtheilskraft*, 1790 (trad. it. di Marassi Massimo, *Critica del giudizio*, Milano 2004) il riferimento così commentato è inserito nella Parte II, *Critica della forza teleologica di giudizio*, § 70. Per un'analisi del portato di Kant nelle questioni della biologia teorica contemporanea, si rimanda a GAMBAROTTO ANDREA & NAHAS AUGUSTE, *Teleology and the Organism: Kant's Controversial Legacy for Contemporary Biology, Studies in History and Philosophy of Science* 93 2022, pp. 47-56.

⁴ Si veda MAYR ERNST W., *Teleological and Teleonomic, a New Analysis*, in COHEN ROBERT S. & WARTOFSKY MARX W. Eds., *Methodological and Historical Essays in the Natural and Social Sciences*, Boston Studies in the Philosophy of Science XIV, Dordrecht 1974, pp. 91-117, qui pp. 112-113. La figura iperbolica, inaccessibile alla scienza umana, di un «Newton del filo d'erba» viene presentata da Kant per sancire l'incapacità della meccanica di spiegare il vivente, pur continuando a essere in qualche modo il canone di ogni giudizio scientifico. Per molti, sarebbe appunto Darwin ad aver compiuto questa 'profezia', offrendo dei problemi biologici una spiegazione «secondo leggi naturali che nessun piano ha disposto». Tuttavia, che la teoria dell'evoluzione darwiniana abbia così risolto la teleologia era solo una delle posizioni che circondavano i suoi contemporanei, altre percepivano al contrario come una nuova forma di teleologia

primo capitolo è dedicato a ripercorrere l'introduzione di un concetto, quello di teleonomia, nella speculazione biologica di metà Novecento dentro la letteratura specialistica in lingua inglese. Senza una pretesa di esaustività storica e storico-concettuale, viene inserita nel quadro dell'elaborazione della Sintesi Moderna, la versione dell'evoluzionismo che, coniugando il darwinismo, la genetica e la metodologia statistica, ambisce ancora oggi a presentarsi come la più semplice ed efficace teoria del vivente. Segue infine una rassegna dei primi usi del nuovo concetto, sino a che questo non è stato accolto progressivamente e in modi molteplici nella trattazione di vari temi, *in primis* quello dell'adattamento e quello dell'organizzazione biologica.

1.1 Breve storia e lineamenti della teoria sintetica dell'evoluzione

Parte considerevole della biologia evoluzionistica contemporanea deve i suoi contenuti e la struttura interdisciplinare del suo programma di ricerca a quella che, nella definizione di uno dei suoi autori, è la Sintesi Moderna o la teoria sintetica dell'evoluzione. Durante gli anni 1930 e '40 studiosi appartenenti ad ambiti diversi, dalla paleontologia alla sistematica e alla genetica, lavorarono perché questi si riunissero attorno a un gruppo relativamente ristretto e coerente di capisaldi teorici e metodologici, riconosciuti pienamente darwiniani. Se difatti dalla fine dell'Ottocento l'esistenza dell'evoluzione era stata accolta da un numero crescente di scienziati, tuttavia i modi in cui venne interpretata erano vari e non necessariamente si allineavano a quelli di Darwin, da cui anzi presero le distanze in maniera esplicita.

Certo le stesse riedizioni dell'*Origine delle specie* e le altre opere darwiniane sino all'*Origine dell'uomo* testimoniavano di un approfondimento e di alcune revisioni circa il come intendere il fenomeno della discendenza con modificazioni e in particolare i meccanismi di selezione⁵, eppure i nuovi evoluzionismi rivoltavano il cuore delle intuizioni

naturale e, curiosamente, in ognuna di queste due interpretazioni stavano da un lato i favorevoli e dall'altro i delusi. Un'eco della battaglia, combattuta da Darwin e i naturalisti ottocenteschi prima e proseguita da scienziati, filosofi della scienza e interpreti oggi, si può riscontrare in LENNOX JAMES G., Darwin *Was a Teleologist*, *Biology and Philosophy* 8.4 1993, pp. 409-421, GHISELIN MICHAEL T., Darwin's Language May Seem Teleological, but His Thinking is Another Matter, *Biology and Philosophy* 9.4 1994, pp. 489-492 e infine LENNOX, Teleology by Another Name: A Reply to Ghiselin, *Biology and Philosophy* 9.4 1994, pp. 493-495.

⁵ Valga la ricostruzione di BARSANTI GIULIO, *Una lunga pazienza cieca. Storia dell'evoluzionismo*, Torino 2005. I Capp. XII, XIII, XIV e XV affrontano la teoria di Darwin nell'interesse del suo sviluppo storico e concettuale. A titolo indicativo, l'*Origine delle specie* venne pubblicata nel 1859: preceduta da un *Abbozzo*

del naturalista. Nell'ortogenesi, per esempio, dove confluirono motivi della *transformation* lamarckiana, le specie mutano lungo traiettorie unilineari e progressive, di contro alla divergenza infinita che contraddistingue la variabilità dei caratteri biologici darwiniani. Quando scoperte paleontologiche permisero di costruire sequenze di evoluzione rettilinea, come la riduzione del numero delle dita negli equidi o l'accrescimento e ramificazione delle corna nei cervi, ciò sembrò indicare che il punto di approdo di certe tendenze incanalasse o restringesse oppure, all'estremo, bloccasse la portata delle divergenze. Non soltanto, detto altrimenti, l'adattamento era visto come un perfezionamento, ma era la perfezione che ne sarebbe conseguita a distanza di generazioni a far sorgere il processo che l'avrebbe progressivamente e inaggirabilmente messa in atto⁶.

Parallelamente la nascita e l'imporsi della genetica, al volgere del 1900⁷, pur riuscendo a indagare in modo via via empiricamente più sorvegliato le componenti materiali dell'ereditarietà, attaccarono la qualità graduale del divenire evolutivo stesso: riprese e sviluppate le osservazioni di Mendel, le unità ereditarie, i geni, sono trattate come discrete e non si fondono per mescolamento, al contrario di quello che si era creduto sino ad allora. Queste unità parvero perciò assicurare la continuità e la preservazione di una specie, piuttosto che il suo trasformarsi, anche siccome una loro mutazione – che sola avrebbe comportato un cambiamento di forme organiche – si rivelava nociva o addirittura mortale. Che l'evoluzione potesse essere discontinua e procedere, per così dire, per salti, era stata

(1842) e da un *Saggio* (1844) non dati alle stampe, sarebbe stata rimaneggiata e allungata per contenere le risposte alle critiche via via sollevate e contò infine durante la vita del naturalista altre cinque edizioni, fino al 1872. L'*Origine dell'uomo* uscì invece nel 1871. Parallelamente all'integrazione di diverse e cooperanti forme di selezione – naturale, sessuale e in qualche modo sociale –, Barsanti osserva il riconoscimento, da parte del pensiero darwiniano maturo, che gli effetti dell'uso o disuso degli organi, tipicamente lamarckiani, sono contati come causa evolutiva. Si parla quindi di un primo e di un secondo Darwin, di alterne fortune e mancata messa a fuoco, per es. nell'a parte *Chiosa ultima: continuità e rotture*, pp. 365-368. In ogni modo il rimando è a DARWIN CHARLES R., *On the Origins of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, London 1859 (trad. it. di Frantini Luciana, *L'origine delle specie*, Torino 2011) e ID., *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, London 1871 (trad. it. di Fiorentini Paola e Migliucci Mario, *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*, Roma 1972).

⁶ BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., pp. 336-340. Varie furono le declinazioni dell'«ortogenesi», così denominata da Wilhelm Haacke, zoologo tedesco, nel 1893: riprendendone le idee, il collega svizzero Theodor Eimer sviluppò un modello di «evoluzione a direzione definita», ma altri, come il paleontologo statunitense Edward Cope, ne catturarono la sensibilità in una riproposizione della teoria lamarckiana. In Lamarck risaltavano il ruolo propulsivo dell'ambiente e l'efficacia delle risposte messe in atto dagli organismi per adattarsi, tagliati fuori dal darwinismo 'a sola selezione naturale' propugnato in quegli anni dallo zoologo tedesco August Weismann.

⁷ BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., pp. 330-336 e 343. Gregor Mendel, abate moravo di formazione naturalistica, condusse esperimenti che portarono alla luce costanti nella trasmissione dei caratteri ereditari nel 1865-66, ma i suoi risultati, pur divulgati, furono riscoperti in via indipendente solo nel 1899 e 1900, dai tre botanici Carl Correns, tedesco, Hugo De Vries, olandese, e Erich Tschermak, austriaco.

un'ipotesi già ottocentesca e però, rivestita degli aggiornamenti della genetica, assunse infine il nome di mutazionismo⁸. La comparsa di una specie nuova è dovuta non alle varianti normali, cioè alla fluttuazione di un carattere intorno alla media, di per sé stabile, bensì a un evento puntuale di modificazione netta di un gene. Stavolta è il ruolo della selezione naturale a venire bloccato, relegato come si voleva a eliminare le varianti normali svantaggiose o le mutazioni patologiche. In generale un simile esito è degno di nota perché storicamente gli evoluzionisti, darwiniani e non, compreso Lamarck e i suoi seguaci, avevano basato la meccanica del cambiamento su una innata malleabilità e variabilità del vivente e non sulla rigidità dei fenomeni ereditari.

I genetisti mutazionisti non furono però gli ultimi a tentare di riconciliare la teoria dell'evoluzione e gli assunti della genetica, perché altri studiosi portarono avanti questa direzione di ricerca inaugurando la cosiddetta genetica di popolazione. Thomas Morgan, già nel suo scritto *A Critique of the Theory of Evolution*⁹ del 1916, poi completato in questo senso da *The Theory of the Gene*¹⁰ del 1926, rivede le convinzioni predominanti nella sua disciplina. Le mutazioni sono in effetti un fenomeno raro, fortemente accidentale in quanto probabilmente legato a deviazioni ed errori dei processi riproduttivi, e la loro entità non sembra essere così grande da generare salti di speciazione. Se un gene rimane singolarmente pressoché inalterato durante le sue duplicazioni, la variabilità invece si manifesta in un gruppo di individui imparentati ovvero una popolazione. Sviluppando queste considerazioni Ronald Fisher espone, in *The Genetical Theory of Natural Selection*¹¹ del 1930, il nuovo aspetto che viene a prendere la selezione naturale: rispetto all'accento che usavano l'evoluzionismo in generale e Darwin nel dettaglio, la genetica interpreta il meccanismo della selezione non tanto come conseguenza di interazioni ecologiche quanto come caso di riproduzione differenziale. Descritto statisticamente, prende le mosse dalla disponibilità di un certo numero di varianti in una popolazione e, attraverso la loro relativa duplicazione attraverso la riproduzione degli individui che le portano in sé, determina che i geni che sono maggiormente capaci di assicurare la propria

⁸ BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., pp. 343-346. *Natura non facit saltum* è sentenza cara alla speculazione darwiniana, malgrado anche evoluzionisti vicini a Darwin come Thomas H. Huxley fossero propensi a concepire almeno alcune varianti come esito di un 'salto' ovvero di un mutamento rilevante e puntuale. Di un simile saltazionismo, De Vries in particolare elaborò una *Mutationstheorie* che ne rappresentava una versione nuova e decisamente radicale.

⁹ MORGAN THOMAS H., *A Critique of the Theory of Evolution*, Princeton (NJ) 1916.

¹⁰ MORGAN, *The Theory of the Gene*, New Haven (CT) 1926.

¹¹ FISHER RONALD A., *The Genetical Theory of Natural Selection*, Oxford 1930.

conservazione tendono a propagarsi nella popolazione di generazione in generazione. L'adattamento di un tratto consiste a questo punto essenzialmente con la sua propensione ad agevolare o raffinare il potenziale riproduttivo dell'organismo, ossia a incrementare la propria frequenza nel bacino genetico della popolazione di appartenenza. Analogamente ragionarono Sewall Wright, John Haldane e Theodosius Dobzhansky, il cui pensiero rifluisce quindi in alcune opere importanti che delinearono i lineamenti della Sintesi Moderna.

Dobzhansky pubblicò la sua *Genetics and the Origin of Species*¹² nel 1937, tuttavia altrettanto determinante risultò il contributo di scienziati provenienti da diversi ambiti: Ernst Mayr, da zoologo e classificatore, scrisse *Systematics and the Origin of Species*¹³ nel 1942, e George Simpson, da paleontologo, *Tempo and Mode in Evolution*¹⁴ nel 1944. Ideale ruolo di concerto nello scambio teorico di questi come di altri studiosi fu quello di Julian Huxley, a cui si deve il nome della Sintesi Moderna e, concettualmente, l'impalcatura aperta e multidisciplinare che in modo programmatico i nuovi evoluzionisti condividevano riallacciandosi all'opera di Darwin. Nel suo *Evolution: The Modern Synthesis*¹⁵ del 1942, si lamenta lo scarto e le risultanti incomprensioni che oppongono approcci e domini diversi della biologia: in linea di massima – era un vuoto ancora ottocentesco – paleontologia e tassonomia si mostrano refrattarie a una loro interpretazione evoluzionistica, ma le ricerche contemporanee di genetica sembrano segnare una cesura profonda fra il vecchio e il nuovo. L'ambizione è appunto quella di ricondurre le specializzazioni disciplinari dentro un quadro complesso, plurale e coerente, che fornisca dell'evoluzione dei viventi un'immagine flessibile ma concreta. Riguardo al tema del carattere graduale della discendenza, per esempio, il fenomeno delle mutazioni va riconosciuto e debitamente soppesato: queste sono di una natura circoscritta e potenzialmente dannosa, eppure di certo rappresentano una importante sorgente di variazione e, filtrate dalla selezione naturale, è possibile che abbiano causato l'apparizione di nuove specie. Nondimeno i fossili, dei quali emergono alcune sequenze lineari, testimoniano una progressione lenta delle varianti, che dell'evoluzione può considerarsi come una tendenza storicamente e di fatto generale ma non esclusiva né esaustiva. In modo corrispondente si danno varie concezioni di che cosa sia e come si distingua una specie e, estendendo il problema, come si

¹² DOBZHANSKY THEODOSIUS, *Genetics and the Origins of Species*, New York 1937.

¹³ MAYR, *Systematics and the Origins of Species. From the Viewpoint of a Zoologist*, New York 1942.

¹⁴ SIMPSON GEORGE G., *Tempo and Mode in Evolution*, New York 1944.

¹⁵ HUXLEY JULIAN S., *Evolution: The Modern Synthesis*, London 1942 (trad. it. di Grasso Luciano, *Evoluzione. La sintesi moderna*, Roma 1966).

attui una speciazione: Dobzhansky e Mayr argomentano uno contro l'altro a questo proposito, contando uno sugli strumenti che offre la biologia molecolare e l'altro sulle osservazioni sul campo e sulla sistematica classica¹⁶. Tuttavia la contraddizione deve essere sciolta nel carattere coerentemente sintetico e plurale del nuovo programma di ricerca. Fin tanto che, quindi, le peculiarità epistemologiche e metodologiche dei vari ambiti riescono a combinarsi e a riconoscersi reciprocamente, sarebbe scorretto e anzi infruttuoso rivendicare a uno dei diversi approcci il miglior modo di leggere l'evoluzione.

Globalmente, anche a prescindere dall'opera di mediazione di Huxley, i teorici e i rappresentanti della teoria sintetica dell'evoluzione condividono, nelle loro divergenze, alcuni punti generali sul corso che la biologia evoluzionistica deve prendere e su che fattezze debba assumere. La genetica e i suoi strumenti concettuali sono considerate la dimensione fondamentale nell'analisi della vita, così che i modelli e le formulazioni matematiche che descrivono i processi ereditari divengono applicabili alle interazioni interindividuali, ovvero al mutare dei tratti nelle popolazioni. Tale riduzione genetica consente di maneggiare quantitativamente la realtà e lo sviluppo dei fenomeni biologici, di cui è possibile fare previsioni accurate, ma consiste in più nell'estrapolazione dell'andamento delle speciazioni dai meccanismi che regolano l'evoluzione delle popolazioni che le costituiscono. Detto altrimenti, le varianti normalmente presenti in un gruppo ristretto di viventi consanguinei sono le stesse che determinano, a certe condizioni, il sorgere di specie diverse, per cui non sono necessarie mutazioni puntuali e dagli effetti dirompenti, bensì piccole variazioni che lentamente si accumulano nel tempo. Pur così geneticamente intesa, l'evoluzione si attua nel classico meccanismo darwiniano in cui una molteplicità di caratteri varianti, gradualmente distinti, sono passati al vaglio della selezione naturale, che ne scarta, secondo le circostanze ambientali contingenti, quelli svantaggiosi e ne

¹⁶ BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., pp. 352-354, 356-358 e 359-360, sulle posizioni rispettivamente di Dobzhansky, Mayr e infine Huxley. Sebbene sotto una lente diversa, la nozione di specie biologica è quasi la stessa nei due autori ed è definita riproduttivamente: un insieme di individui suddivisi in gruppi più o meno alla lontana imparentati, che generano o sono in grado di generare prole a sua volta feconda, a cui appartiene un comune patrimonio genetico. La divergenza sorse sui modi della speciazione, che consegue da un meccanismo di isolamento e che per Dobzhansky può accadere sia che emergano barriere geografiche sia che l'isolamento dipenda invece soltanto da cause ecologiche. Mayr riconosce la prima, detta allopatrica, e rifiuta la seconda, simpatica, perché non sostenuta dalle osservazioni e di fatto equivalente alla prima. Huxley contestò che la natura delle specie potesse essere messa a nudo da un unico criterio, siccome coinvolge dimensioni complementari ma varie della biologia dei viventi, e in qualche modo analogamente ritenne le speciazioni allopatrica e simpatica ugualmente possibili, affiancando loro in aggiunta quella parapatica, dove due popolazioni non sono isolate ma non sono più interfeconde per via di una mutazione genetica particolare.

conserva quelli vantaggiosi. Ne risulta in questa maniera, al passare delle generazioni, l'adattamento dei caratteri e quindi degli organismi e delle specie al proprio ruolo ecologico, che tanto più diviene evidente quanto più si comprende e osserva l'agire della selezione.

Significativamente, le nuove generazioni di biologi si avvertono in una linea di continuità con Darwin non solo idealmente, ma anche nella concretezza dei dati sperimentali, delle nozioni e del metodo da adoperare. In altre parole l'evoluzionismo *tout court* – l'evoluzione come un fatto, documentato e dimostrato scientificamente – appare quello darwiniano e Darwin si presenta come il primo e vero evoluzionista. Quello che la Sintesi Moderna promette è il consolidamento delle sue intuizioni e il loro allargamento ai nuovi campi delle ricerche biologiche, nella prosecuzione del suo programma di ricerca. In questo modo tuttavia i debiti realmente esistenti appiattiscono la complessità, già solo intellettuale quando non anche umana, del naturalista sulla fisionomia di un nuovo stadio storico nella rielaborazione della sua teoria¹⁷. Di riflesso, nel dettaglio del moltiplicarsi di approcci evoluzionistici prima della teoria sintetica, si scorgono abbastanza chiari e però confusi errori e fraintendimenti: riemersioni del lamarckismo, ortogenesi, filosofie dell'evoluzione teologicamente connotate, saltazionismo, mutazionismo e vitalismi sono tessere i cui colori sbiadiscono uno nell'altro dentro una generica «eclisse del darwinismo»¹⁸. In particolare l'istanza di riarticolare un campo di ricerca scientifico sull'evoluzione, quello che solo corrisponde alle idee di Darwin, spinge a rigettare sia le sue rielaborazioni filosofiche sia quelle che appaiono compromesse con nozioni o preoccupazioni non strettamente scientifiche. Vitalistica è allora una descrizione falsa e non scientifica del vivente, che viene spiegato ricorrendo a forze non materiali e non meccaniche, pertanto spirituali: ciò, oltre a non basarsi su dati empirici, impedisce una sua piena

¹⁷ Di nuovo BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., pp. 365-368, nell'a parte *Chiosa ultima: continuità e rotture*. L'autore commenta il confronto, acceso e di opinioni e di spiriti, che sulle pagine della *Revue de synthèse* nel 1986 contrappose in particolare John Greene, storico delle idee statunitense, e Mayr. Riguardo alla presenza e alle metamorfosi del darwinismo, Greene nel suo *The History of Ideas Revisited* (GREENE JOHN C., *The History of Ideas Revisited, Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 201-227) sostiene che il darwinismo originario durò poco e che quello che poi si sviluppò a partire dal Darwin maturo non era comunque il darwinismo purgato e reinterpretato secondo i principi della genetica di popolazione, alla base della Sintesi Moderna. Viceversa Mayr in *The Death of Darwin?* (MAYR, *The Death of Darwin?, Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 229-235) rivendica la piena e pura continuità della biologia evoluzionistica contemporanea con il pensiero del naturalista. Al dibattito presero parte anche François Jacob, Stephen Gould e il direttore della rivista Jacques Roger, che si allinea pur misuratamente all'opera documentaria dello storico.

¹⁸ BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., p. 336. L'espressione è di Huxley, nella sua ricostruzione delle vicissitudini storiche di Darwin in funzione del programma della Sintesi Moderna, in *Evolution: The Modern Synthesis*.

spiegazione e una manipolazione sperimentalmente efficace. Qualora non si tratti di uomini, cosiddette forze vitali rappresentano verisimilmente una proiezione delle capacità cognitive e della volontà umane sulla natura vivente non umana.

In questa accezione le teologie naturali ottocentesche e i vitalismi non darwiniani che hanno preceduto la teoria sintetica si muovono nella stessa direttrice, dal momento che in essi Dio o spiriti o forze immateriali sembrano, confusamente tutti, agire per ordinare e predisporre la natura e la storia naturale dei viventi nello specifico. Quando anche il creato non venga riconosciuto un insieme ben ordinato e armonioso al massimo grado, come le scienze dimostrano, pure l'ordine che lo contraddistingue anche in una prospettiva evoluzionistica è avvertito e inteso provvidenziale e carico di un senso sovranaturale. I fini sono oggetti che condensano in misura peculiare la reticenza ad accettare l'immagine scientifica dell'evoluzione. Le forze sovranaturali infatti, concepite a partire dalle religioni o da immagini dell'universo spiritualeggianti, sono o sono qualcosa di simile a persone agenti e agenti volontariamente. L'atto di creazione e di ordinamento della natura da parte loro è dunque intenzionale e razionale e, in ultimo, perciò il creato è teleologicamente connotato: oggetto di un atto che deliberatamente e con cognizione di causa lo dispone per un verso, è cioè per l'altro asservito agli scopi che provvidenzialmente questa intelligenza ha scorto e poi istituito. Come l'evoluzionismo darwiniano ha dovuto confrontarsi con la teologia naturale e destituirlo di fondamenti, così adesso, per garantirne una corretta interpretazione scientifica, la Sintesi Moderna deve allontanare non solo le suggestioni di coloro che non sono scienziati, ma anche le teorie degli evoluzionisti eterodossi. I lamarckiani e i seguaci dell'ortogenesi sono sensibili a questo tipo di derive e il loro tendere verso soluzioni teleologiche o che chiamino in causa direzioni fisse e finalizzate dei cambiamenti evolutivi è tutt'uno con una loro erronea comprensione della selezione di Darwin. Di conseguenza è sensato estendere a questo largo spettro di opinioni, pure appartenenti in alcuni casi a forme di conoscenza distinte e lontane, le caratteristiche che si trovano solamente in alcune per marcare in generale il fatto di essere non scientifiche o, in altre parole, scientificamente smentite. Quello che Darwin originariamente intuì e produsse, che i darwiniani hanno proseguito e che oggi costituisce scienza è una teoria dell'evoluzione, insomma, che tale è in quanto respinge richiami al sovranaturale o l'esistenza di forze non materiali, la perfezione dello stato di natura o

l'impressione del suo perfezionamento e, in conclusione, l'azione per così dire di infiltrazione di provvidenza e teleologia.

1.2 Pittendrigh: invenzione e caratteri della teleonomia

Una generale propensione teorica e una sensibilità maldisposte verso il riconoscimento dei fini devono però scontrarsi con alcuni fenomeni, sicuramente appannaggio della biologia, che a una qualche sorta di finalizzazione o funzionalizzazione rimandano. Non è un caso pertanto che la legittimazione di un linguaggio teleologicamente connotato – e degli oggetti e processi da questo descritti – riparta da un dibattito incentrato sull'adattamento. Nel 1958, in un volume sul ruolo del comportamento come tratto evolutivo, Colin Pittendrigh¹⁹ dedica larga parte del suo contributo a considerazioni teoriche poi bilanciate da due casi studio particolari: abitudini e caratteri comportamentali di alcune specie di moscerini risultano esser state selezionate e promuovere una relativamente maggiore riproduzione, al pari di una struttura anatomica o un processo fisiologico. Conformemente alla lezione dell'etologia di Lorenz, un vivente è organismo nella sua organizzazione tanto di componenti materiali come gli organi, quanto di attività metaboliche e infine, per gli animali, quanto di schemi di comportamento. È appunto l'organizzazione la proprietà che può consentire di spiegare «il problema biologico centrale e più ostinato oltre che la caratteristica saliente di un vivente», cioè l'adattamento.

Che un organismo oppure un tratto organico siano adatti a un ambiente si deve interpretare in modi differenti, a seconda che ci si concentri sullo stato di cose attuale o che invece, in uno sguardo propriamente evoluzionistico, si ricerchi la causa dello stato di attuale adattabilità nella filogenesi. Per esempio, ecologicamente, una specie è adatta a un ambiente se lo abita e ci prospera – vale a dire, se è in grado di sfruttarne le risorse e le nicchie per sopravvivere e riprodursi – oppure, sotto una analisi morfologica, fisiologica o etologica, un organo è adatto a un certo uso se serve all'organismo a conseguire questo risultato. Questa «aura di piano, scopo o finalizzazione» (*design, purpose* o *end-directedness*) non è sfuggita a naturalisti e biologi preevoluzionisti, da Aristotele in

¹⁹ PITTENDRIGH COLIN S., *Adaptation, Natural Selection, and Behavior*, in ROE ANNE & SIMPSON GEORGE G. Eds., *Behavior and Evolution*, New Haven (CT) 1958, pp. 390-416. Colin S. Pittendrigh (1918-1996), di natali inglesi ma naturalizzato statunitense, è, assieme a Jürgen Aschoff e Erwin Bünning, iniziatore della cronobiologia, la sottodisciplina che indaga il cosiddetto orologio biologico, ossia i ritmi e la meccanica attraverso cui gli organismi regolano le proprie funzioni e attività seguendo cicli temporali interni corrispondenti a quelli per esempio giornalieri, stagionali o annuali ambientali.

avanti, che vi ravvisano a ragione la linea di demarcazione netta fra il vivente e il non vivente, eppure la loro interpretazione è manchevole quando non fuorviante. Ricapitolando in maniera cursoria alcuni punti della storia della biologia, Darwin e l'*Origine delle specie* del 1859 fanno da spartiacque tra i cento anni precedenti, il periodo di gestazione delle scienze della vita che ancora è contaminato dalle sfumature della teleologia aristotelica, e i cento successivi, fino alla contemporaneità, quando una specie di ortodossia ingenua porta alla rimozione dei fini dalla biologia.

Si è data dunque una biologia teleologica, un modello di biologia pre-, anti- o non scientifico, da cui ci si è allontanati per una corretta comprensione dei viventi. Pittendrigh conta tre componenti essenziali dell'evoluzionismo: primo, l'estromissione delle cause finali o in altre parole il rifiuto di attribuire alcun ruolo causale a scopi e funzioni; secondo, la prospettiva storica lunghissima dei processi che vedono comparire, mutare ed estinguersi le specie e, terzo, la scoperta della selezione naturale. Questo concetto, squisitamente darwiniano, viene presentato come una pietra d'angolo, perché, da un lato, è compatibile con il quadro teorico e sperimentale della fisica e della chimica e in effetti anche con i ritrovati della tecnica e perché, dall'altro, è non teleologico. Come riflesso dal filone di genetica delle popolazioni che alimenta la Sintesi Moderna, un fenomeno di selezione consiste in un percorso di sopravvivenza e riproduzione differenziale di gruppi di esemplari simili ma non identici nei loro caratteri ereditari, il quale, incrociando circostanze ambientali casuali e contingenti, approda *a posteriori* alla preservazione di caratteri relativamente ben adattati. Non si dà intenzionalità né previsione nello svolgersi delle meccaniche di selezione, per cui non solo non è contemplabile un artigiano sovranaturale che disegni le specie così come ora sono – un dio creatore dei teologi cristiani e in particolare dei teologi naturali come Paley²⁰ –, ma queste stesse specie devono essere

²⁰ William Paley (1743-1805), moralista e teologo inglese, fu autore di opere largamente influenti ancora per il corso dell'Ottocento: *The Principles of Moral and Political Philosophy* (1785), divenuto manuale didattico universitario, *View of the Evidences of Christianity* (1794) e, per quanto qui può interessare, *Natural Theology, or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity collected from the Appearances of Nature* (1802). Darwin la lesse durante la sua formazione a Cambridge, sede di studi dello stesso Paley, e rimase intensamente persuaso dal fatto che la complessità e la finezza strutturale degli organismi costituissero prova razionale dell'esistenza di Dio, come un orologio dimostra l'azione di un orologiaio. Tuttavia, il viaggio intorno al mondo e le ricerche successive sgretolarono sino in fondo questa certezza, poiché la teoria dell'evoluzione per selezione naturale rendeva conto meglio e a sufficienza del carattere casuale, contingente e imperfetto che i viventi e la loro storia dimostravano di avere. Condividevano in quei decenni l'ispirazione della *Natural Theology* gli altrettanto influenti *Bridgewater Treatises* (1833-36), una collezione di otto volumi patrocinata dalla Royal Society e redatti da vari personaggi del panorama intellettuale per dimostrare «la Potenza, Sapienza e Bontà di Dio, manifestate nella Creazione». Gli evoluzionisti e

accettate come un esito tutt'altro che perfetto, una vera e propria «opera di taglio e cucito di rattoppi che sono stati messi insieme» dal corso della storia.

Ora nessun autore prima di Darwin è riuscito a offrire un quadro della biologia che comprendesse questi toni, neanche Buffon, nominato come migliore portavoce delle generazioni immediatamente precedenti. Anzitutto si è ignorata la selezione naturale, il cui significato non sta tanto nell'essere la forza conduttrice dei fenomeni di discendenza e variazione biologica, quanto nell'essere «uno schema per la spiegazione dell'adattamento... interamente privo di teleologia». Poi non è stata apprezzata del tutto la pregnanza della dimensione temporale dell'evoluzione, compromessa con un'immagine di perfezione, crescente o decrescente, che rimanda a sua volta a un'azione intenzionale morale e sovranaturale che guidi il processo. Insomma i fini, le cause finali o la teleologia – aristotelicamente intesa – appaiono come le deviazioni teoriche che hanno impedito di cogliere la realtà dell'evoluzione nei suoi tratti peculiari, spingendo lo studio dalla funzione di un adattamento o dall'agire intenzionale di un comportamento a un dominio di finalità superiore che ne spieghi l'esistenza. Invece in natura non si rimanda a quella dimensione del reale e ciò che scientificamente si constata sono la casualità, la varietà spontanea dei caratteri genetici, la contingenza e la causalità storica irreversibile che li selezionano e li conducono alle geneazioni presenti, così come l'assenza di predeterminazione, previsione e prevedibilità tanto da parte degli individui coinvolti nel processo quanto da parte delle meccaniche del processo stesso. Riassunte in una figura, sono qualità che indicano l'assenza di un agente non naturale che ne sia responsabile, per esempio come «una mente progettuale intelligente» che asseconi un criterio di perfezione nel dare forma e sviluppo alla natura perché gli organismi ci siano ben adattati o almeno adattati quanto meglio possibile.

D'altro canto i fini sono intrinsecamente contraddittori dal momento che si presentano come cause, ma a essi causalmente non si può ascrivere niente. Pittendrigh avverte nella scientificità di una disciplina il cercare ed elaborare spiegazioni causali dei dati, dove cause sono le cause così denominate nel linguaggio ordinario sulla scia della critica moderna alle speculazioni aristoteliche: in altri termini vere e proprie cause sono le cause efficienti, quelle a cui seguono effetti posteriormente, sia da un punto di vista logico e

Darwin in prima persona continuarono comunque a confrontarsi con gli argomenti cosmologici e teleologici di questi scritti e con le obiezioni che i loro sostenitori avanzarono verso la selezione naturale.

gnoseologico sia da un punto di vista ontologico. Quando riprende alcune distinzioni di altri biologi circa gli interrogativi principali – e pertanto gli approcci metodologici – delle loro ricerche, sottolinea che invece di chiamarli «funzionale», «evolutivo» e «causale», legando i primi due e contrapponendoli al terzo, «potrebbe... essere meglio sostituire l'espressione “spiegazione causale” con “spiegazione fisiologica” ed evitare la possibile sfumatura per cui “spiegazione funzionale” ed “evolutiva” siano antitetichette a “causale”». «Causale», infatti, «possiede molte sfumature, alcune delle quali sono corrette, portando la nozione implicita di non teleologico» e «quelle caratteristiche della vita a qualsiasi orizzonte temporale che esigono una spiegazione funzionale ed evolutiva si sono sviluppate da un processo che è in se stesso pienamente causale nel senso di essere libero dalla teleologia». Non pochi a ragione hanno respinto le cause finali perché queste sono «non materialmente efficienti» e la teleologia nel suo insieme è rivendicata come «un principio causale efficiente»: i fini, le funzioni o gli adattamenti biologici, che sono ciò che preme alla specifica discussione del contributo, se vengano interpretati teleologicamente, sono una sorta di cause invertite che vogliono vantare il ruolo esplicativo delle cause come scientificamente le si intende, ossia quelle efficienti, ma che al tempo stesso non possono strutturalmente offrirlo, perché soltanto vere e proprie cause spiegano i fenomeni.

Nondimeno i fini sussistono, rientrano nel lessico della spiegazione e delle questioni biologiche e il fatto non è né imbarazzante né problematico, anzi è imprescindibile. L'impiego dei «*clichés*» della «lotta per l'esistenza» e della «sopravvivenza del più adatto» ha malauguratamente oscurato l'intuizione della selezione naturale come «prevalenza risultante del tipo che si riproduce più efficientemente», cosicché nello sforzo di conservare un modello non teleologico dell'evoluzione la realtà dell'adattamento in se stesso viene negata. Certamente «una pia asserzione», ma

i biologi per un momento erano pronti a dire che una tartaruga viene a terra *e* depone le uova, ma si rifiutavano di dire che viene a terra *per* deporre le uova. Questi scrupoli verbali erano intesi come un respingimento della teleologia, però erano basati sull'opinione erronea che dalla semplice *descrizione* di un meccanismo diretto a un fine è necessariamente implicata l'efficienza di cause finali²¹.

La tecnica lo dimostra, perché rende possibile assemblare automi che tendono al conseguimento di certi obiettivi desiderati dagli ingegneri che in questo modo li hanno disegnati e costruiti. Pertanto Pittendrigh sovrappone – identifica invero – organizzazione e

²¹ PITTENDRIGH, *Adaptation* cit., p. 393.

adattamento, parlando di «fini» o «scopi», *ends* o *goals*, che un sistema composto in maniera organizzata possiede, e di «finalizzazione», *end-directedness*, che è la proprietà esibita dal sistema. Qualcosa di organizzato è organizzato in ragione di uno scopo, le sue strutture e processi componenti contribuiscono insieme a produrre certi stati di cose funzionali all'organizzazione stessa, cioè l'adattamento spiega l'organizzazione. Viceversa qualcosa di adatto è adatto perché ben organizzato, uno scopo conseguito è il punto di approdo di un reticolo di meccaniche che interagiscono efficacemente sino a portarlo in atto, cioè l'organizzazione spiega l'adattamento. Un esercito, per esempio, nello schierarsi deve tenere in considerazione la qualità del campo di battaglia e le armi e le risorse a sua disposizione ed è in ragione di questo contesto e dell'obiettivo di vincere gli avversari che la sua organizzazione viene attuata e viene insieme compresa. Gli individui viventi sono un emblema di questo genere di sistemi – sono detti organismi in quanto forme di organizzazione –, per cui una simile caratteristica non può prescindere dal riferimento a uno scopo a cui l'organizzazione è relativa e che ne sostanzia la natura.

Non si dà qualcosa come un'organizzazione in qualche senso assoluto, pura e semplice. L'organizzazione è sempre relativa e relativa a un fine: si distingue dal mero ordine sotto questo aspetto... L'importanza di ciò per lo studioso di sistemi viventi dipende da che non può sostenere alla leggera che questi sono organizzati senza essere preparato ad affrontare la domanda: «Rispetto a che cosa sono organizzati?»... E ci sono poche scuse per evitare il suo dettato più semplice: «A che fine il sistema vivente è organizzato?»²².

Se è altro dall'ordine, che non è un concetto che presenti una adeguata sfumatura relazionale e di dipendenza dal contesto, l'organizzazione è comunque contrapposta al «caso», *randomness*, e al disordine in senso più generale, in quanto «uno stato improbabile in un universo... contingente» che è diretto al progressivo aumento dell'entropia. Proprio la cibernetica e lo sviluppo dell'informatica consentono di maneggiare i fenomeni in discussione e fornirne una teoria puntuale: se l'informazione è entropia negativa e l'organizzazione incorpora e trasforma informazione, nei viventi difatti la genetica, come magazzino informativo, veicola le istruzioni per il funzionamento dell'organismo individuale e per la riproduzione dell'intero sistema, vale a dire un composto ben organizzato.

Un quadro specificamente fisico tuttavia, per esempio del comportamento della tartaruga, lascia scoperto a questo riguardo un interrogativo che è cifra delle scienze dell'evoluzione: fermo restando che in quanto organismo è una forma di organizzazione

²² PITTENDRIGH, *Adaptation* cit., p. 394.

e dunque rivolta a uno o molteplici scopi e che a convogliarne la dimensione informativa è la sua genetica, qual è l'origine dell'informazione genetica? Di nuovo è un'apertura storica lunghissima quella che sola permetta di inserire i gesti dell'animale in una rete causale di processi che coinvolgono generazioni e specie diverse e che costituiscono il meccanismo della selezione naturale. «Uno strumento per generare un elevato grado di improbabilità», secondo Fisher, questa rappresenta la causa originaria nella gemmazione di una specie ovvero nella disposizione di un dato corredo informativo genotipico che controlla l'organizzazione biologica. Volendo accettare questa definizione, la «spiegazione causale» che alcuni teorici hanno contrapposto a quella «evolutiva» è perciò insufficiente, visto che la sua portata è eccessivamente ristretta e non abbraccia la dimensione organizzativa di un individuo vivente, comprensibile a condizione di investigarne una causalità temporale forte e cioè la sua comparsa per evoluzione secondo selezione.

Anche rimanendo dentro i dibattiti evoluzionistici insomma, alcune incertezze mancano di centrare, come la natura della selezione e quella dell'organizzazione dei sistemi biologici, così il significato dell'adattamento, giacché i tre aspetti sono strettamente intrecciati e dipendenti. Per quanto concerne il fenomeno sul piano del presente, è unicamente con la Teoria Sintetica che i meccanismi evolutivi immaginati da Darwin sono stati collocati nell'ambito della varietà, riproduzione e competizione di geni, in misura che un organismo è interpretato correttamente attraverso la sua disarticolazione in tratti ereditari che interagiscono con quelli di altri organismi della stessa specie. In altre parole, l'individuo scivola per così dire per un verso nel genotipo che lo organizza e per un altro nella popolazione in cui è compreso, che è a ben guardare il campo d'azione dei fenomeni genetici interindividuali. In questo senso importanti sono stati i contributi di Haldane e Fisher, cui però è ancora una prospettiva temporale evoluzionistica a permettere di far maturare i frutti teorici migliori. Un'organizzazione vivente, per concentrarsi su quello che è reputato il suo carattere principale, è tale perché si riproduce ossia perché l'informazione e l'azione del suo genotipo sono in grado di dirigerla sino a far duplicare l'informazione stessa. L'evoluzione dipende dal concatenarsi delle generazioni e nella sua duplicazione, reiterata in lunghi lassi di tempo, un genotipo manifesta la sua natura di «magazzino della memoria filogenetica». Sta qui l'adattabilità biologica: una struttura o un comportamento non sono adatti perché rispondono al criterio delle condizioni di vita necessarie all'individuo, bensì in quanto, nel contesto storico del divenire di una specie e

a fronte di una comparazione interspecifica, relativamente alle alternative genetiche disponibili in passato le circostanze ambientali hanno promosso la riproduzione maggiore di una a scapito dell'altra. Perciò un adattamento è relativo, ma soprattutto è l'esito contemporaneo di un fenomeno di selezione nel passato, in un certo senso un «anacronismo», che per così dire proietta il risultato in atto a ritroso nella efficacia che precedentemente ha avuto.

Al di là della sua dimensione storica, l'adattamento conserva poi, in una ottica evolutivista, quella che riguarda nel dettaglio i fini. *Ends* è ciò di cui esplicitamente parla Pittendrigh, perché un organismo è una forma di organizzazione ben riuscita se le funzioni dei suoi componenti vengono raggiunte. Lì si distingue peraltro gerarchicamente, poiché, in ragione della priorità per così dire ontologica dei geni e del repertorio genetico di popolazione rispetto all'individuo, alcuni risultati – e «i frammenti di organizzazione che li servono» – non sono fini a se stessi, bensì solo «fini prossimi». Procurarsi nutrimento e sopravvivere sono casi di questo genere subalterno di fine, individuale, che è in realtà mezzo necessario per «il fine supremo della riproduzione», «il solo agente del perpetuarsi». La duplicazione genotipica nel corso delle generazioni, il vero e proprio fenomeno a cui assistono i naturalisti pur dai loro differenti ambiti disciplinari, non rende semplicemente possibile l'evoluzione, ma le conferisce quel suo «carattere unico» di «aumentare il grado di organizzazione» biologica «rispetto al successo riproduttivo» o «efficienza riproduttiva» (*reproductive success* o *reproductive efficiency*). Simili considerazioni sono pienamente compatibili con la natura causale e quindi non teleologica della selezione, oltre che contingente e in ultimo radicalmente opportunistica in relazione ai mezzi e alle circostanze: un meccanismo di riproduzione differenziale è operante quale che sia la maniera storicamente data di conseguire una maggiore efficacia riproduttiva.

Si deve ribadire quindi che, in quanto «organizzazione totale di un sistema vivente»,

lo studio dell'adattamento non è una preoccupazione facoltativa con affascinanti frammenti di storia naturale: è il cuore della ricerca biologica. L'organismo non è solo un sistema alcune caratteristiche del quale possono essere o no adattative: il sistema vivente è tutto adattamento nella misura in cui è organizzato. Inoltre non è ancora abbastanza dire che l'organismo è un «fascio di adattamenti»..., perché questo implica che l'organizzazione sia un fenomeno agiuntivo e che adattamenti discreti possano essere isolati dal sistema²³.

²³ PITTENDRIGH, *Adaptation* cit., p. 395.

Questa posizione riconosce fini e funzioni biologiche, non solo perché comodi strumenti lessicali per la metodologia della disciplina, ma anche e principalmente perché oggetti e componenti reali dei fenomeni indagati. Organismi senza adattamenti e senza scopi a cui tendano i processi che li costituiscono non sono esempi di organizzazione, per quanto il significato peculiare della loro finalizzazione sia eminentemente storico ed evolutivo, vale a dire che sia l'effetto di meccaniche causali largamente dipendenti da singoli accadimenti passati regolate dalla selezione darwiniana. Come sradicare allora questi vocaboli – e i dati di osservazione che oggettivamente designano – dalla connotazione teleologica di creazioni di una mente progettuale?

Oggi il concetto di adattamento sta cominciando a godere di una migliore rispettabilità per diversi motivi: è visto come meno che perfetto; la selezione naturale è meglio compresa e il fisico ingegnere nel congegnare automi intenzionali ha consacrato l'uso del linguaggio teleologico. Sembra infelice che il termine «teleologia» debba essere resuscitato e, come credo, abusato in questo senso. La confusione di lunga data, per il biologo, sarebbe rimossa più appieno se tutti i sistemi diretti a un fine fossero descritti da qualche altro termine, come «teleonomico», in modo da accentuare che il riconoscimento e la descrizione della finalizzazione non comporta un impegno verso la teleologia aristotelica come un principio causale efficiente²⁴.

1.3 Prima diffusione e fortuna della 'nuova teleologia'

La prospettiva che Pittendrigh suggeriva nel suo contributo fornì a biologi e teorici della scienza un vocabolo e un concetto che consentivano di superare l'imbarazzo di dover trattare di fenomeni apparentemente orientati a uno scopo o a una funzione, ma biologicamente importanti, senza cedere al portato per così dire spiritualeggiante della teleologia. Simpson²⁵, curatore e coautore del volume, si allinea al ragionamento condotto: l'organizzazione che gli organismi dimostrano è relativa non soltanto nelle strutture e dinamiche che li compongono, ma anche «in relazione a qualcos'altro», ovvero «in relazione all'utilità dell'individuo o di una popolazione di cui l'individuo è un membro».

²⁴ PITTENDRIGH, *Adaptation* cit., pp. 393-394.

²⁵ SIMPSON, *Behavior and Evolution*, in ROE & SIMPSON Eds., *Behavior and Evolution* cit., pp. 507-535. George G. Simpson (1902-1984), paleontologo statunitense, descrisse la documentazione fossile dei mammiferi, specie quelli primitivi, di cui poi approfondì la filogenesi e la tassonomia e studiò le migrazioni intercontinentali. Importante per avere usato un approccio quantitativo matematico ai problemi della paleontologia, rifletté anche sulle basi teoriche dell'evoluzione: è contato perciò fra gli autori principali che forgiarono la Sintesi Moderna, per opere appunto come *Tempo and Mode in Evolution*, *The Meaning of Evolution* e *The Major Features of Evolution*. Per questi due ultimi scritti, si veda SIMPSON GEORGE G. & SIMPSON LAURENCE, *The Meaning of Evolution: A Study of the History of Life and of Its Significance for Man*, New Haven (CT) 1949 e SIMPSON, *The Major Features of Evolution*, New York 1953.

Serve un fine e in tal senso è finalistica...; ha uno scopo e in tal senso è teleologica... Le parole «finalistico» e «teleologico» hanno comunque avuto in filosofia una storia sfortunata che le rende del tutto inadeguate all'uso nella biologia moderna. Sono state troppo spesso impiegate per intendere che l'evoluzione nella sua interezza ha un obiettivo predeterminato oppure che l'utile dell'organizzazione in generale è rispetto all'uomo o a qualche superiore schema delle cose. Dunque questi termini possono implicitamente negare invece che esprimere la conclusione biologica che l'organizzazione negli organismi è in relazione all'utilità di ciascuna singola specie al momento in cui si presenta e non in relazione a qualsiasi altra specie o a qualsiasi momento a venire²⁶.

L'utile è propriamente un carattere adattativo e perciò l'adattamento è il punto verso cui tende l'organizzazione vivente, ma il quadro deve essere parzialmente corretto rispetto a Pittendrigh. Il significato biologico della dimensione organica degli organismi è certamente quello che la rileva fundamentalmente adattativa, quindi in grado di ripercuotersi positivamente a vantaggio della sopravvivenza e riproduzione di una specie, e teleonomica, cioè strutturata in ragione di questo esito. Dimensione organizzativa e adattamento sono tuttavia equivalenti unicamente quando ci si concentri su un individuo e sugli scopi prossimi che i suoi tratti adattativi possono perseguire, garantendone il sostentamento: richiamando i suoi esempi, forme e grandezza della dentatura equina sono adattamenti per una dieta erbivora da pascolo oppure le capacità percettive ed esplorative delle api operaie, così come le loro strategie comunicative, servono adattativamente a individuare e condividere nell'alveare la posizione di una fonte di cibo. Questo è oggetto di osservazione e non prevede un approfondimento, di per sé, della storia naturale che ha portato in essere i particolari adattamenti degli organismi contemporanei. Altri fenomeni adattativi non permettono invece la compenetrazione dei due aspetti, organizzazione da un lato e adattamento dall'altro, siano le interazioni ecologiche tra le specie e il loro *habitat* o siano i processi evuzionistici che si esprimono in questa relazione. In entrambi gli scenari infatti si intendono con adattamento sfumature di significato diverse, che non devono essere ignorate. Anche all'interno degli organismi, infine, non si può non riconoscere almeno in parte l'esistenza di caratteri non adattativi.

Ripercorrendo le opinioni di Pittendrigh, Simpson in verità presenta l'evoluzione in modo più problematico, dando spazio all'azione e alla conseguente interazione di forze differenti qualitativamente. Geneticamente i processi che creano variazione all'interno di una popolazione, come mutazione, assortimento e ricombinazione, non hanno nessun orientamento in rapporto all'adattamento e sono, così, casuali. Se però «non c'è vita senza

²⁶ SIMPSON, *Behavior and Evolution* cit., p. 520.

organizzazione né organizzazione senza adattamento», i viventi devono le loro proprietà teleonomiche a un meccanismo che a partire da processi genetici aleatori convoglia e stabilizza i mutamenti in certe direzioni evolutive.

La maggioranza dei biologi oggi concorda che il processo di orientamento, non casuale, antialeatorio nell'evoluzione, la condizione necessaria e sufficiente per l'adattamento, è la selezione naturale... Un successo nella riproduzione *mediamente* maggiore o minore (non importa quanto debole) è correlato con fattori genetici. Questa correlazione assicura in modo automatico e inevitabile che l'evoluzione genetica andrà nella direzione di un maggiore successo riproduttivo²⁷.

Quest'ultimo è «il solo fine funzionale della selezione», *functional end*, cioè, si potrebbe forse rileggere, è il solo esito che una dinamica di selezione mira a produrre e che al tempo stesso costituisce la funzione della dinamica evolutiva stessa. L'adattamento è sotto questo riguardo subordinato e compare e si conserva nella misura in cui promuove una maggiore riproduzione. Pertanto, pur essendo egualmente indispensabili dal punto di vista biologico, si dà un ambito di fenomeni non teleonomici cioè imprevedibili e fortuiti – come quelli genetici –, un altro spiccatamente teleonomico – la selezione imbriglia una simile casualità in vista del tasso riproduttivo popolazionele – e inoltre un altro, ancora teleonomico, che esibisce organizzazione funzionale nei singoli individui conseguentemente alle pressioni selettive, ovvero il risultato del precedente meccanismo di selezione.

Ciò detto, vale la pena notare di passaggio che Simpson riserva un'attenzione speciale a un certo tipo di finalizzazione, legata al tema dei contributi in raccolta.

Il comportamento è peraltro comunemente insolito (anche se non in modo invariabile) nella complessità della sua determinazione genetica e nella lunghezza e nella tortuosità della catena causale fra quella determinazione e il vero e proprio comportamento... Questi e altri fattori ontogenetici, come l'esperienza individuale..., aumentano tremendamente le diramazioni del comportamento nel corso dell'adattamento. Di solito il comportamento è diretto a uno scopo in maniera più ovvia e più specifica che i meccanismi da cui dipende. Alcuni biologi potrebbero andare per il sottile per dedurre dalla struttura di un colibrì la sua adattabilità oppure se la struttura debba essere detta «orientata a uno scopo», però nessuno può negare l'applicabilità del termine al comportamento dell'uccello verso un fiore o mettere in questione che il comportamento sia adattativo²⁸.

Al di fuori del testo che conia il concetto di teleonomia, in ogni modo, Pittendrigh venne richiamato negli anni immediatamente successivi da altri autori e, inizialmente, in contributi che lo adoperano per fornire una cornice teorica adeguata e aggiornata a problemi specifici delle scienze interessate, che sono il vero oggetto della discussione. Julian

²⁷ SIMPSON, *Behavior and Evolution* cit., p. 532.

²⁸ SIMPSON, *Behavior and Evolution* cit., p. 521.

S. Huxley²⁹, per esempio, approvò la proposta lessicale e nel 1960, in uno scritto di zoologia, fornì un caso di studio particolare del modo in cui le funzioni biologiche debbano essere investigate o, in altri termini, di che cosa sia concretamente per un biologo la teleonomia che osserva realizzata nei viventi. La sua attenzione è concentrata sulle specializzazioni strutturali del becco di due specie di cicogna, ma spiegarne l'origine e l'uso è anche occasione per descrivere nel modo più rigoroso possibile l'azione delle forze evolutive. Al riguardo «*teleonomia* è un termine utile» che consente di «denotare l'apparente finalizzazione degli organismi e delle loro caratteristiche» (*apparent purposefulness*): da una parte dismette il vocabolario teleologico, che implica «uno scopo o un progetto consapevole» (*conscious purpose* o *design*) nella genesi di tali caratteri, dall'altra però gode di un fortissimo valore intrinseco.

È insieme più comprensivo e più preciso di *adattamento*, che è spesso riservato ad adattamenti specifici per circostanze particolari o è usato in maniera vaga meramente per intendere una generica corrispondenza all'ambiente. Denota i processi per cui una variazione biologicamente casuale di piccolo ordine (mutazione e ricombinazione) è convertita dall'opera della selezione in una variazione direzionale di grande ordine — il cambiamento evolutivo lungo linee adattatesi alla migliorata prestazione delle funzioni biologiche in un dato ambiente.

Dunque,

il cambiamento teleonomico è una inevitabile conseguenza della selezione naturale all'opera su organismi con un particolare complesso genico. Sarà sempre presente, però i dettagli dei risultanti «adattamenti» e la loro precisa funzione biologica esigeranno sempre analisi e chiarimento³⁰.

Gli assiomi della teoria sintetica sono abbracciati in un'unica visione di insieme e, in un certo senso, la teleonomia ne rappresenta il dato saliente: dalla natura radicalmente aleatoria e disordinata dei fenomeni genetici l'evoluzione passa, per estrapolazione, alle traiettorie evolutive di lunghissimo periodo, che coinvolgono le specie e i *taxa* superiori e che vedono, attraverso il loro formarsi ed estinguersi, il progredire delle forme di

²⁹ HUXLEY, The Openbill's Open Bill: A Teleonomic Enquiry, *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Anatomie und Ontogenie der Tiere* 88.9 1960, pp. 9-30. Julian S. Huxley (1887-1975), nipote di Thomas amico e collega di Darwin, contribuì alle ricerche di un ampio spettro di discipline biologiche, dall'embriologia e la genetica alla zoologia, l'etologia e la biologia evuzionistica. Dotato di una solida formazione umanistica, fu saggista e divulgatore e occupò diverse posizioni di rilievo all'interno di associazioni e istituti scientifici, letterari e culturali. Oltre a *Evoluzione. La sintesi moderna*, si segnalano a rappresentanti della sua vasta produzione *Evolutionary Ethics* (HUXLEY, *Evolutionary Ethics*, Oxford 1943), che connette la teoria dell'evoluzione a un nuovo umanesimo e alla morale, e *Ciò che oso pensare* – ID., *What Dare I Think?: The Challenge of Modern Science to Human Action and Belief*, London 1931 (trad. it. di Prampolini Giacomo, *Ciò che oso pensare*, Roma 2022) –, sulle applicazioni pratiche sociali ed eugenetiche della biologia. Approfondisce la sua figura BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., pp. 359-363.

³⁰ HUXLEY, The Openbill's Open Bill cit., p. 9.

complessità. Il caso e il microscopico della genetica di popolazioni riproducono esattamente il meccanismo che segue l'evoluzione macroscopica con le radiazioni ecologiche, le speciazioni e il progressivo raffinamento adattativo dei tratti oggetto di selezione.

Ciononostante, malgrado i viventi non possano non essere letti se non attraverso la lente della teleonomia, asserzioni appena meno generali richiedono per Huxley ben altro scrupolo. Che l'anatomia del becco delle cicogne, per la sua specialità fenotipica, suggerisca delle cause evolutive sue proprie, *ergo* sia stato e tuttora perduri a essere adattativamente vantaggioso alle specie in certi modi particolari, questa è una intuizione vera, ma va suffragata mediante le accurate osservazioni sul campo e in cattività degli animali e del loro comportamento alimentare, le comparazioni anatomiche, fisiologiche e comportamentali con altre specie simili o per parentela o per abitudini o per ecologia e, non da ultimo, la sperimentazione di condizioni alternative o al limite rispetto a quelle osservate. Pertanto, in questa indagine a prima vista ristretta all'ornitologia specialistica, sono numerose le specie di uccelli e non solo prese in considerazione per saggiare la stupefacente varietà sia delle istanze ecologiche che premono sull'evoluzione sia degli adattamenti miranti ad affrontarle, a seconda dei casi convergenti oppure divergenti³¹.

La convinzione che Huxley riponeva nell'aspetto progressivo e, per così dire, ascendente dell'evoluzione biologica era condivisa con altri teorici e rimaneva tuttavia controversa. Da inserirsi nelle sue più generali rappresentazioni della natura e poi, in effetti, anche nella sua antropologia³², nondimeno non impediva a questa idea di pervadere la globalità delle specie e degli eventi evolutivi e di mostrarsi come un meccanismo di perfezionamento o miglioramento funzionale del tutto naturale attuato dalla selezione.

³¹ A titolo di illustrazione, di queste cicogne, l'anastomo asiatico e quello africano, viene ricapitolata – e sottoposta a critica e riscontro empirico – la letteratura ornitologica dedicata. Il becco presenta una apertura caratteristica fra le due mandibole e margini seghettati e solo studiando i particolari della dieta e l'anatomia se ne può dare una descrizione evoluzionisticamente – e teleonomicamente – conveniente. Gli anastomi, in conclusione, sono sopravvissuti ispessendo e facendo del loro becco una sorta di schiaccianoci, che rompe la conchiglia delle lumache d'acqua, loro preda abituale per quanto non esclusiva, e le trattiene prima di liberarsi dei frammenti del guscio e ingerire il pasto. Chiarificatrici sono in questa analisi le somiglianze e le differenze con altri uccelli che si cibano di molluschi, che per esempio li ingoiano interi e però possiedono un apparato digestivo più potente oppure li predano meno di frequente e solamente se le conchiglie sono più sottili.

³² BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca* cit., p. 362 riporta dello stato ambiguo che gli uomini conservano secondo Huxley: non certo qualcosa come il fine dell'evoluzione, nondimeno ne rappresentano forse il culmine, perché si distanziano qualitativamente dagli altri animali per intelligenza e consapevolezza. «Magnifico paradosso di un meccanismo cieco», come dice, l'evoluzione naturale persiste nel regolare la biologia umana, però è di fatto soppiantata o almeno allentata da quella sociale e culturale, che della selezione naturale è una conseguenza adattativa.

Seguendo le sue parole la biologia si potrebbe dire teleonomica per definizione, in quanto e fin tanto che imperniata sul vaglio discrezionale di varianti genetiche casuali nell'ambiente lungo archi di tempo profondi.

Parallelamente a considerazioni di questo tipo, nel 1961, nel corso di un convegno di biologia molecolare, i biochimici Bernard Davis, Jacques Monod e François Jacob³³ inserirono dentro la dimensione teorica della teleonomia le acquisizioni più recenti in materia delle sostanze, dei processi e dei meccanismi di regolazione cellulari, che coinvolgono da una parte gli acidi nucleici depositari di informazione genetica, DNA e RNA, e dall'altra i componenti della cellula responsabili del suo sfruttamento, *in primis* gli enzimi. La finezza della delicata e insieme ingegnosa articolazione delle vie metaboliche era già stata riscontrata nelle analisi dei decenni precedenti e si rivelava ora suscettibile di rigorose misurazioni: i fenomeni biochimici appaiono straordinariamente efficienti e ben calibrati e seguono un principio di parsimonia generale, tanto che spesso richiamano opere dell'ingegneria o strategie dell'economia politica.

Introducendo la serie di interventi, dedicati nello specifico al tema della regolazione cellulare, Davis³⁴ la presenta come del più alto livello quanto al «significato teleonomico» che riveste nell'organizzazione del metabolismo microbico e, per estensione, degli organismi pluricellulari. «Economia» e «parsimonia» (*economy*) sono la direzione cardinale lungo cui si sviluppano le complesse attività delle cellule, per cui l'evoluzione sembra avere saggiato i modi più precisi e contemporaneamente più semplici e convenienti di recuperare i materiali e l'energia di cui necessitano, di trasformarli e di trarne utilità.

La scoperta di elaborati dispositivi di controllo negli organismi unicellulari, che interessano caratteristiche speciali dell'azione genetica e della specificità enzimatica, accadde inaspettatamente, eppure il più elementare ragionamento evoluzionistico fornisce una spiegazione ovvia per lo sviluppo di questi meccanismi. Perché in nessun altro luogo in biologia l'effetto della pressione selettiva evolutiva è più agevole da osservare che nella crescita microbica... Sono sicuro che la Natura tiene conto di leggeri tassi di crescita differenziale ancora più minuziosamente di quanto un banchiere compari i tassi di interesse sui titoli. Nessun dispositivo che migliori l'economia di operatività di una cellula sarà tralasciato, incluse,

³³ *Cellular Regulatory Mechanisms, Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology XXVI*, Cold Spring Harbor (NY) 1961.

³⁴ DAVIS BERNARD D., *The Teleonomic Significance of Biosynthetic Control Mechanisms, Cellular Regulatory Mechanisms* cit., pp. 1-10. Bernard D. Davis (1916-1994), biochimico statunitense, lavorò sul metabolismo cellulare e in particolare la fisiologia microbica e, facendo capo alla Scuola Medica di Harvard, curò l'organizzazione di incontri scientifici a livello nazionale. Sua, per inciso, è la cosiddetta fallacia moralistica, quella secondo cui non si può evincere da come le cose dovrebbero stare come di fatto le cose stanno o, in altre parole, vincolare le scoperte della libera indagine scientifica alle preoccupazioni morali o politiche per i suoi abusi.

certamente, la velocità di riproduzione in un dato ambiente ma anche l'adattabilità ad ambienti instabili³⁵.

In se stessa l'esistenza del fatto dell'alimentazione testimonia che «la Natura risparmia geni biosintetici quando possibile», perché le sostanze di cui un vivente ha bisogno, se più prontamente e facilmente reperibili nell'ambiente, evita di fabbricarsele *ex novo* nel proprio metabolismo. I meccanismi di regolazione dei processi metabolici, tuttavia, dimostrano in maniera più sottile ancora la tendenza – proficua – a renderne più efficienti le operazioni. Riguardo ai circuiti a retroazione o *feedback*, attraverso i quali il risultato di alcune attività metaboliche influenza l'innescamento o l'andamento delle stesse attività che lo ha prodotto o di altri percorsi del metabolismo funzionalmente connessi a queste,

il valore evolutivo del meccanismo è molto più generale e deriva quantomeno parimenti dalla sua capacità, a prescindere dalla ricchezza del mezzo esterno, di armonizzare le molteplici vie concorrenti del metabolismo. L'inibizione retroattiva dunque impedisce alla sintesi endogena di prodotti finali di raggiungere un livello che si concluderebbe nella secrezione e nello spreco³⁶.

Il macchinario biochimico crea, regola, inibisce o sopprime gli enzimi, controllando il tipo e il quantitativo di materiale disponibile al fabbisogno cellulare, ma, se pure la complessità di simili processi sfugge almeno in parte alla chiarezza e appare tortuosa, «non-dimeno, anche questa minuta economia risulta avere un valore evolutivo per la sopravvivenza».

Inoltre, a chiusura delle relazioni del convegno, Monod e Jacob³⁷ si riallacciano alle parole di Davis e proseguono la definizione della dimensione teleonomica di questi fenomeni biologici. Accanto all'economia e alla natura ben organizzata, la chimica degli

³⁵ DAVIS, *The Teleonomic Significance* cit., p. 1.

³⁶ DAVIS, *The Teleonomic Significance* cit., p. 8.

³⁷ MONOD JACQUES L. & JACOB FRANÇOIS, *Teleonomic Mechanisms in Cellular Metabolism, Growth, and Differentiation, Cellular Regulatory Mechanisms* cit., pp. 389-401. Jacques L. Monod (1910-1976), biologo francese, concentrò il suo lavoro sulla genetica e la biochimica microbica, contribuendo a rischiarare il ruolo delle mutazioni casuali nell'adattamento e i complessi processi attraverso cui i geni esprimono e controllano la sintesi delle proteine. Fondamentale a questo riguardo è il modello teorico dell'operone, sequenza di geni espressi in modo coordinato, elaborato assieme a Jacob e André Lwoff e premiato dal Nobel per la Medicina nel 1965. Dotato di una formazione culturale anche umanistica, la sua sensibilità filosofica lo spinse ad approfondire le implicazioni teoriche di queste scienze nel *Caso e la necessità*, MONOD, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris 1970 (trad. it. di Busi Anna, *Il caso e la necessità. Saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea*, Milano 1970). François Jacob (1920-2013), medico e biologo anche lui francese, collaborò con Élie Wollman oltre che con Lwoff e Monod nello studio dei viventi unicellulari, descrivendo in particolare il ciclo lisogeno dei virus batteriofagi e il fenomeno della coniugazione batterica. A sua volta, si interessò alla storia delle scienze della vita e alla biologia teorica nella *Logica del vivente* – JACOB, *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*, Paris 1970 (trad. it. di Serafini Aldo e Serafini Silvia, *La logica del vivente. Storia dell'ereditarietà*, Torino 1971) – e in *Le jeu des possibles. Essai sur la diversité du vivant* (1981).

organismi è in realtà contrassegnata da un ulteriore dato, vale a dire la contingenza: per esempio le proprietà che sono assommate nelle proteine in punti salienti del metabolismo sono strutturalmente indipendenti le une dalle altre, nel senso che a guardare soltanto la conformazione spaziale di queste sostanze non è possibile dedurre *a priori* la loro combinazione in strutture o vie metaboliche funzionalmente integrate. Un tipo di dispositivo regolatore come l'inibizione spesso si presenta appunto allosterico: in una catena di reazioni uno dei primi enzimi compresi è sensibile, in modo discrezionale, non solo al substrato a cui normalmente si lega e ad altre molecole a esso analoghe per forma, bensì anche a molecole del tutto dissimili. Poiché queste sono o i prodotti terminali di quello stesso percorso metabolico oppure metaboliti che rientrano in altri percorsi, la conseguenza dell'allostera è quella di comporre e calibrare reciprocamente le differenti attività di un organismo a seconda del mutamento delle condizioni ambientali esterne e interne.

Dal momento che l'effetto allosterico non è *intrinsecamente* relativo a qualsivoglia caratteristica strutturale particolare comune a substrato e inibitore, gli enzimi soggetti a questo effetto devono essere considerati come puri prodotti di selezione per strumenti di regolazione efficienti... *Qualsiasi* connessione regolatrice fisiologicamente utile, fra due o più percorsi qualunque, potrebbe venire istituita da una adeguata costruzione selettiva dei siti di interazione su un enzima allosterico³⁸.

La specificità «libera» con la quale le proteine reagiscono in presenza di un numero e di tipi diversi di molecole rende evidente la «costruzione teleonomica del sistema regolatore», ossia il fatto che è unicamente in ragione di una storia evolutiva naturale se certi organismi (o addirittura certi processi o certi stadi nel ciclo vitale di uno stesso organismo) esibiscono le proprietà biochimiche che adesso a date condizioni si osservano. Oltre che riflesso dell'azione della selezione e della sua radicale contingenza, questo tratto biologico però si rivela teleonomico anche nel senso che le associazioni e rimodulazioni libere della chimica metabolica possono essere reclutate per fare fronte a circostanze ecologiche nuove e potenzialmente avverse, garantendo al vivente la sua flessibilità adattativa, sia individuale sia filogenetica. Concludendo, Davis non ignora il «sapore fortemente teleologico» che questo genere di discussioni porta in sé perché «impegnate di un significato ecologico o fisiologico, in contrasto con il meccanicismo». Appropriarsi della denominazione di teleonomia è però sufficiente ad abbandonare «la preveggenza divina della definizione originaria» (*divine foresight*), un vero «vizio teologico», e la ricchezza

³⁸ MONOD & JACOB, *Teleonomic Mechanisms* cit., p. 391.

di questo ambito di indagine sarà salvaguardata e adeguatamente intesa: cioè, lo sviluppo di strutture e meccanismi preziosi biologicamente di cui è la selezione naturale l'agente responsabile.

Se questi scritti si appropriavano della teleonomia senza però affrontarla in modo diretto ed esteso da un punto di vista teorico, differente era l'ambizione che animava George C. Williams nel suo *Adaptation and Natural Selection* del 1966³⁹. Biologo evolucionista, allora difendeva la versione della teoria sintetica radicata in una rigorosa aderenza alla matematica e alla statistica della genetica di popolazioni, così come elaborate da Fisher, Wright e Haldane. Per la sua interpretazione, il repertorio genetico popolazionale e le meccaniche delle sue variazioni statistiche nel tempo più o meno lungo sono il nervo e il soggetto proprio dell'evoluzione e, pertanto, si oppose a quelle prime tendenze teoriche che chiamavano in causa, contro i postulati della Sintesi Moderna, fenomeni caratteristici di livelli organizzativi biologici superiori a quello del genoma. A questo punto, nelle sue parole,

L'adattamento evolutivo è un fenomeno di importanza pervasiva in biologia. La sua posizione centrale è sottolineata nell'attuale teoria dell'origine della vita, la quale propone che l'evoluzione chimica dell'idrosfera produsse in una fase un «brodo organico» di grande complessità chimica, ma privo di vita nei suoi stadi più precoci. Fra gli aspetti complessi stava la formazione di molecole o concentrazioni molecolari che erano in qualche misura autocatalitiche. Questa è una proprietà chimica comune. Anche una molecola d'acqua è in grado di catalizzare la sua stessa sintesi. Solo raramente sarebbe stata formata una molecola che avrebbe prodotto variazioni casuali fra la sua «discendenza» e avrebbe passato simili variazioni alla successiva «generazione», ma, una volta che questo sistema fosse emerso, la selezione naturale avrebbe potuto operare, gli adattamenti sarebbero apparsi e la Terra avrebbe posseduto un biota.

Insomma,

abbiamo a che vedere con la vita quando siamo costretti a invocare la selezione naturale per raggiungere una spiegazione completa di un sistema osservato. In questo senso i principi della chimica e della fisica non sono sufficienti. Almeno l'unico postulato aggiuntivo della selezione naturale e la sua conseguenza, l'adattamento, sono richiesti⁴⁰.

³⁹ WILLIAMS GEORGE C., *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some Current Evolutionary Thought*, Princeton (NJ) 1966. George C. Williams (1926-2010), biologo statunitense, propugnò una rappresentazione genocentrica dell'evoluzione e dell'opera della selezione, in sintonia negli anni 1960 e '70 con William Hamilton, John Maynard Smith e Richard Dawkins. In tal senso, dedicò i suoi studi in particolare al sesso e alle sue implicazioni nel gioco evolucionistico, contrastando fortemente la proposta della selezione di gruppo, per cui popolazioni e *taxa* di ordine superiore esibirebbero caratteri e proprietà distintive che non sono quelli degli individui che li compongono. Si segnalano al riguardo *Group Selection* (WILLIAMS, *Group Selection*, Chicago 1971) e *Sex and Evolution* (ID., *Sex and Evolution*, Princeton (NJ) 1975). In un secondo stadio della sua riflessione, in ogni modo, il genocentrismo risultò attenuato a vantaggio di un parziale riconoscimento dell'indipendenza dei fenomeni macroevolutivi.

⁴⁰ WILLIAMS, *Adaptation and Natural Selection* cit., p. 5.

Il riferimento alla questione dell'origine storica delle primissime forme viventi getta luce su come, da un punto di vista invece propriamente teorico se non logico, ciò che è vivo vada concepito e definito. Un vivente, per quanto primordiale, sembra possedere difatti delle caratteristiche basilari che lo accomunano a tutti gli altri, comprese le specie attualmente esistenti, e che delimitano un campo di ricerca epistemologicamente autonomo da quelli concorrenti delle altre scienze naturali. Il meccanismo della selezione da un lato e l'adattamento dall'altro sono il nocciolo di quanto è squisitamente biologico e i problemi dell'evoluzionismo contemporaneo saranno superati riconoscendone l'importanza e il reale rapporto.

Non si tratta però di applicare uniformemente e in modo ingiustificatamente comprensivo il principio di selezione e il connesso adattazionismo: anzi l'intero saggio di Williams vuole «purgare la biologia» di ciò che considera come «distrazioni non necessarie», supposti correttivi alla teoria sintetica quali l'assimilazione genetica, la plasticità o la selezione di gruppo⁴¹, e intende farlo in ragione di un istanza di «parsimonia» (*parsimony*).

La regola fondamentale – o forse *dottrina* sarebbe un termine migliore – è che l'adattamento è un concetto speciale e oneroso che dovrebbe essere usato solo quando è veramente necessario. Quando va riconosciuto, andrebbe attribuito a un livello di organizzazione non più alto di quanto sia richiesto dai fatti. Nello spiegare l'adattamento, si dovrebbe assumere l'adeguatezza della più semplice forma di selezione naturale, quella di alleli alternativi in popolazioni mendeliane, a meno che la prova sperimentale non dimostri chiaramente che questa teoria non basti⁴².

Allontanandosi dalla semplicità e coerenza della Sintesi Moderna, alcuni sviluppi dell'evoluzionismo presentano un'immagine della selezione banale o deformata.

⁴¹ Questi, in particolare, sono i bersagli teorici di Williams, in linea con altri sostenitori del neodarwinismo. L'assimilazione genetica è fenomeno studiato da Conrad Waddington, uno dei padri dell'epigenetica, e consiste nella modifica adattativa, in ragione di condizioni ambientali non ordinarie, dell'apparato di sviluppo di un organismo, selettivamente preservata e quindi in grado di trasmettersi alla prole. Nelle parole del suo autore è un caso di vera e propria ereditarietà dei caratteri acquisiti, *à la* Lamarck, ma mediante un meccanismo compiutamente darwiniano. La plasticità invece è quella caratteristica per cui uno stesso genotipo è capace di esprimere fenotipi differenti, anche in modo qualitativamente radicale e seguendo schemi temporali e ambientali complessi. Veniva suggerita per esempio da Cyril Darlington, il quale presentava questa capacità biologica del genoma come in se stesso un carattere adattativo e foriero di conseguenze sull'evoluzione di lungo periodo. La selezione di gruppo infine è una meccanica di selezione operata a livello di associazioni di individui non imparentati o non strettamente imparentati, che esprimono nei riguardi dei componenti del gruppo comportamenti altruistici. Per autori come Richard Lewontin e Vero Wynne-Edwards, in questo caso a essere avvantaggiate o svantaggiate da un certo carattere sono le popolazioni e non gli organismi individuali. Oggi questi temi sono al centro di approfonditi e intensi dibattiti, nella prospettiva di una nuova teoria sintetica, la cosiddetta Sintesi Estesa.

⁴² WILLIAMS, *Adaptation and Natural Selection* cit., pp. 4-5.

Solitamente chiamata in causa per spiegare le speciazioni, i grandi mutamenti morfologici fra le specie nel lungo periodo e il loro particolare ruolo ecologico, non viene in effetti concepita, ai fini di una disamina scientifica dei problemi dell'adattamento, in modo molto diverso da quanto si faceva prima delle teorie genetiche o addirittura prima di Darwin o Lamarck⁴³. Questa superficialità ostacola la crescita dell'aspetto quantitativo negli studi sull'adattamento, riassumendo «la distribuzione e la variazione filogenetica nelle strategie generali impiegate nel gioco della vita»: piuttosto che concentrarsi su adattamenti di tipo climatico, più rilevanti sono per lui l'origine e l'evoluzione della sessualità, della socialità o dell'intelligenza, che comportano un numero e un'intensità di fattori interagenti maggiormente interessanti e complessi.

La purezza metodologica del rasoio di Occam delimita in misura rigorosa – e programmaticamente, da qui in avanti, dovrebbe delimitare – quando e perché in certi casi si possa parlare di selezione e quando invece no, sebbene ci si possa comunque trovare di fronte a fenomeni biologicamente importanti. Molti scienziati non colgono l'importanza della distinzione tra gli adattamenti e gli «effetti fortuiti», *fortuitous effects*, di strutture o processi dell'organismo. In generale questo è descrivibile dalla fisica e dalla chimica, ossia è riconducibile alle categorie di causa ed effetto che appartengono loro come a tutte le scienze. Le strutture che lo compongono sortiscono effetti oppure sono i prodotti causali di certi fenomeni – direttamente o indirettamente, di norma o invece per una circostanza accidentale –, ma «qualsiasi meccanismo biologico produce almeno un effetto che può propriamente essere chiamato il suo scopo», *goal*, per esempio la vista per un occhio o la riproduzione per un frutto.

Ogniqualevolta creda che un effetto sia prodotto come funzione di un adattamento perfezionato dalla selezione naturale per servire quella funzione, userò vocaboli appropriati all'artefatto umano e al progetto consapevole. Designare qualcosa come il *mezzo* o *meccanismo* per un certo *scopo* o *funzione* o *fine* implicherà che il macchinario coinvolto è stato modellato

⁴³ Questa è la sensazione in WILLIAMS, *Adaptation and Natural Selection* cit., pp. 270-271: i problemi classici su cui si concentrano le teorie biologiche dell'adattamento «avanzano richieste semplici», perché «la maggior parte delle conclusioni sugli schemi di speciazione sarebbe praticamente la stessa se basata su concetti lamarckiani, darwiniani ottocenteschi o della moderna genetica. Il fatto che un moderno articolo sulla speciazione in un certo genere contenga termini come mutazione, flusso genico e selezione non implica necessariamente che sia concettualmente molto progredito». A riguardo è significativo che, per illustrare il primo stadio di una analisi teleonomica, sia citata perfino la descrizione che Paley fa dell'anatomia dell'occhio nella sua *Natural Theology*: oggi insomma queste ricerche possono dirsi davvero scientifiche solamente abbracciando un metodo e modelli quantitativi che sostanzino e insieme superino le intuizioni della vecchia biologia.

dalla selezione per lo scopo attribuitogli. Quando non credo sussista una simile relazione eviterò questi vocaboli e userò parole appropriate a relazioni fortuite come *causa* ed *effetto*⁴⁴.

«*Scopo o funzione o fine*» (*goal, function o purpose*), da una parte, e «*mezzo o meccanismo*» (*means o mechanism*), dall'altra: dentro tale quadro teorico risiede «l'essenza della scienza della biologia», per quanto, di nuovo, gli usi immotivati dei concetti adattativi andrebbero sostituiti da un atteggiamento cauto che li impiega «solo come un'ultima risorsa», «quando principi meno onerosi, quali quelli di fisica e chimica o quello di causa ed effetto indefiniti, sono sufficienti a una spiegazione completa». Una funzione biologica, quindi, non è che un effetto del tutto trasparente agli strumenti di indagine delle altre scienze naturali e tuttavia, dato che un organismo è un sistema *sui generis* sotto l'aspetto fisico e chimico, è adeguatamente compresa come quell'effetto che direttamente l'azione della selezione, nel corso delle generazioni, ha contribuito a conservare e raffinare perché adattativo. Selezione, funzione (cioè, effetto selezionato) e adattamento sono contrapposti al «caso», *chance*, che si può osservare però in momenti differenti: casuale è infatti un tratto scollegato dalle dinamiche selettive e dunque evolutive, ma anche un tratto che è collegato a quelli funzionali, selettivamente vantaggiosi e promossi, come «sottoprodotto», *by-product*, e «conseguenza accidentale», *incidental consequence*. Questo a ben guardare è l'ambito dei caratteri più arduo a interpretarsi, perché se ogni adattamento è per definizione positivo, non necessariamente d'altro canto un effetto collaterale è negativo o irrilevante. Per esempio, i lombrichi, muovendosi e alimentandosi, contribuiscono nel tempo a rivoltare, aerare e rendere il suolo più ricco di sostanze che favoriscono la crescita dei vegetali: collettivamente questi animali sono responsabili della salute e del rigoglio dell'intera comunità ecologica a cui appartengono, eppure è sensato interpretare un simile contributo come un effetto evidentemente benefico ma fortuito e non una funzione propria dell'apparato locomotorio e digerente della specie⁴⁵.

A sua volta Williams risalta la natura organizzazionale e perciò «primariamente funzionale» degli organismi, sottoponendola tuttavia a una critica accurata che deriva

⁴⁴ WILLIAMS, *Adaptation and Natural Selection* cit., p. 9.

⁴⁵ Si tratta di un caso paradigmatico, dal momento che, a differenza di quando sono gli uomini a godere dei prodotti o dell'utile che possono ricavare da altri organismi, sicuramente non poggia su criteri antropocentrici. Viceversa, la fermentazione da parte degli enzimi glicolitici del lievito non serve a produrre birra, per quanto i birrai se ne servano appositamente e unicamente a questo scopo, così come l'accumulo e la produzione di guano a opera delle colonie di uccelli marini non è funzionale al suo uso in agricoltura come fertilizzante, malgrado il suo impiego sia di certo benefico. D'altro canto, appunto, forse il metabolismo o le strutture corporee dei lombrichi presentano una conformazione tale che si riesca a spiegarli solo come un «sistema organizzato per l'arricchimento del terreno»?

dalla chiarezza con cui i concetti di selezione e adattamento sono stati precedentemente ridefiniti. Le componenti e le attività di un individuo biologico sono organizzate per la sopravvivenza del suo corredo genetico o altri esiti subalterni a esso: vengono escluse pertanto le qualità distintive di forme di organizzazione umane che mostrano progettazione razionale e i debiti verso un patrimonio culturale plurigenerazionale. Di più, di certo una specie non è organicamente articolata come una società e non è tenuta insieme da uno 'spirito di nazionalismo'⁴⁶, nonostante anche i biologi inconsapevolmente spesso la rappresentino così, ma nella sua stessa logica un'organizzazione può essere una caratteristica propria di fenomeni diversi.

Perfino il sistema caoticamente più disorganizzato è capace di possedere una precisa organizzazione statistica. La statistica del caos o della casualità è una norma basilare per la statistica in generale. Un parametro di qualunque collezione di entità può avere una media aritmetica e altre misure di tendenza centrale precisamente specificabili, una varianza, asimmetria, curtosi precisamente determinate e così via. La precisione con cui questi parametri di popolazione si riescono a mantenere non è necessariamente un indice di precisione funzionale, meramente indica una costanza statistica⁴⁷.

In tal senso il grado di coesione e indipendenza ontologica di realtà biologiche sovraindividuali (popolazioni, specie, generi e simili) non garantirebbe, se non in casi ristretti, un trattamento che li equipari all'organismo. Non solo i gruppi sociali umani, ma anche le società di varie specie di insetti come api e formiche e le strutture familiari di uccelli gregari esibiscono in modo evidente una ripartizione funzionale dei comportamenti e dei ruoli individuali nella popolazione. Appunto, però, non ogni aggregazione di organismi è così finemente strutturata e anzi i fenomeni, che ai biologi della selezione di gruppo appaiono funzionali, sono più agevolmente ed economicamente interpretabili come un accumulo di caratteri e tendenze pienamente individuali. Un nugolo di falene attorno a una lampada o una massa di mitili attaccati a un palo immerso in acqua, per esempio, non

⁴⁶ Si danno analogie e interessanti parallelismi tra fenomeni biologici e aspetti spiccatamente appartenenti alle società umane: gruppi e colonie animali legate per via della parentela nel corso di più generazioni sono simili alle famiglie e, a un livello ancora superiore, le specie sembrano resistere ai disturbi ambientali e prolungarsi nel tempo non diversamente dalla coesione delle espressioni sovraindividuali più potenti della socialità umana, come le nazioni. Osservazioni di questo tipo spingono parecchi biologi a intendere una selezione di gruppo, in altre parole a conferire a popolazioni e specie uno stato di individualità pari a quello degli organismi individuali. Williams nota tuttavia che «non c'è nessuna guida semplice e affidabile per dirci dove fermarci» in questi paragoni. Richiamandosi alla situazione geopolitica della Guerra Fredda si domanda provocatorio: «Una Nuova Frontiera? Un Piano Quinquennale? Una specie dispone di un volere collettivo nell'evitare l'estinzione o di qualcosa affatto simile a un interesse collettivo del genere?».

⁴⁷ WILLIAMS, *Adaptation and Natural Selection* cit., pp. 256-257.

presentano un'organizzazione collettiva che non sia somma del comportamento degli organismi singolarmente presi.

Dirigendosi verso una risistemazione ragionata di questo campo di studi, il suggerimento di Pittendrigh è colto e più nettamente definito: sotto l'aspetto lessicale quanto epistemologico la teleonomia sembra a Williams in grado di accogliere il perfezionamento della biologia evoluzionistica nella risoluta aderenza ai postulati della sua versione novecentesca. In primo luogo sta l'intento, condiviso con altri scienziati e affondato nella storia della scienza dell'evoluzione fino a Darwin, di liberare i viventi da rappresentazioni moralmente o religiosamente connotate. «La teologia giudeo-cristiana» e «la tradizione romantica» sono probabilmente gli antagonisti culturali di qualsiasi visione della natura che le sottragga un ordine riconosciuto degno di ispirare la condotta e le ambizioni spirituali umane. Quando il creato, almeno in qualche misura e nel lungo corso, è benevolente verso le sue creature – se in altri termini c'è etica nella natura e la natura è metro di giudizio dell'etica degli uomini –, il suo creatore è per ciò benigno. Questa «quiete della mente» viene disturbata dal sospetto che, se dolore e persino violenza sono ampiamente quotidiani e regolari nella creazione, un Dio che le lasci sussistere sia a sua volta indifferente o malevolo. Nondimeno ciò non dovrebbe costringere le ricerche della biologia, che in effetti aspira a penetrare finalmente le domande che riguardano la vita senza pregiudizi e impedimenti scientificamente irrilevanti. Abbandonata quella che tradizionalmente è stata considerata una concezione più edificante, ecco però che «è difficile per molti immaginare che il ruolo di un individuo nell'evoluzione sia integralmente contenuto nel suo contributo alla statistica dei parametri vitali» o, in ultimo questo è il nodo, «che il cieco gioco dei geni possa produrre l'uomo».

Al di là dell'abbattimento di questa «Natura»⁴⁸, in ogni modo, vi è un intento propriamente programmatico che, dal di dentro delle questioni teoriche e la spiegazione dei fatti biologici nella loro varietà, mira a costruire su nuovi e più saldi pilastri lo «studio scientifico dell'adattamento». Dalla teoria genetica della selezione naturale,

⁴⁸ Non è casuale che si parli di «Natura» adesso che a essa si riconoscerebbe, forse non una personificazione, ma almeno un'autorità morale che dovrebbe esercitarsi in qualche misura sugli uomini. In effetti per Williams le scienze naturali smascherano questo 'idolo' come un riflesso di costruzioni socioculturali pienamente umane, che non è quindi estraneo e indipendente dell'azione degli uomini. Poiché è difficile non venire influenzati da simili sovrastrutture, si chiede pertanto, ancora provocatorio, se piuttosto la biologia evoluzionistica non avrebbe potuto maturare meglio e prima in una cultura come quella buddista dove la cruda durezza del vivente sembra riecheggiata dalla Prima Nobile Verità del Discorso di Benares: «Nascere è dolore, invecchiare è dolore, ammalarsi è dolore, morire è dolore...».

matematicamente elaborata, si possono trarre a esempio il rigore e la precisione quantitativa che dovrebbe impregnare ricerche lasciate all'intuito e a una metodologia poco disciplinata e così, in un certo modo, quelle dell'adattabilità risultano la frontiera e la sfida più recenti della Sintesi Moderna.

Pittendrigh... ha suggerito che l'esplicito riconoscimento dell'organizzazione funzionale di sistemi viventi sia chiamato *teleonomia*. Questa denominazione connoterebbe un legame formale con la teleologia aristotelica, con l'importante differenza che la teleonomia implica il principio materiale della selezione naturale al posto della causa finale aristotelica. Propongo che la denominazione di Pittendrigh sia usata per designare lo studio dell'adattamento... Il suo primo interesse verso un fenomeno biologico sarebbe rispondere alla domanda: «Qual è la sua funzione?»⁴⁹.

Attraverso la formalizzazione delle categorie e del vocabolario tecnico, è possibile pensare a una gerarchia di funzioni biologiche o quantomeno a ben determinati rapporti di subordinazione di una funzione a un'altra: quelle basilari appartengono a qualsiasi specie e consistono evidentemente negli adattamenti alimentari, morfogenetici (concernenti cioè la strutturazione e la maturazione del piano corporeo) e difensivi. Su di esse se ne innestano altre e il dato stesso della compresenza e fusione di adattamenti diversi rimanda alla necessità sia di comprenderne la relazione di dipendenza sia di calare gli organismi in una dimensione storica profonda. Nel corpo umano per esempio, che il cristallino degli occhi sia una lente è intuitivo e, oltre a giustificare le analogie con manufatti come gli occhiali o le macchine fotografiche, esprime una funzionalità del tutto comprensibile fermandosi all'anatomia dell'organo. Al contrario l'inversione della retina, come l'incrocio delle vie respiratorie con il canale digerente oppure la partecipazione di certe regioni genitali a funzioni riproduttive e insieme escrettrici, «non possiedono nessuna spiegazione funzionale, ma si possono capire come aspetti di evoluzione funzionale»: sono alcune delle «molte limitazioni funzionalmente arbitrarie che sono sempre manifeste nello schema di un organismo», si potrebbe dire in qualche modo, «errori».

Quando gli adattamenti – il fine nell'ambito della biologia, anche in particolare evolutivista – ricevono l'attenzione e la corretta interpretazione che loro è dovuta, ciò non può avvenire senza che, di riflesso, il meccanismo della selezione naturale che li determina sia compiutamente inteso. Conseguentemente funzioni sono quegli effetti, soltanto quelli, che sono il portato di eventi selettivi i quali hanno operato nel tempo più o meno lungo delle generazioni a monte di un individuo, discriminando in modo relativo

⁴⁹ WILLIAMS, *Adaptation and Natural Selection* cit., pp. 258.

fra i geni alternativi per ciascuno dei caratteri ereditari dentro una popolazione, in ragione della loro capacità di incidere sul tasso riproduttivo. Per quanto questo sia, in un certo senso importante, l'ambito specificamente biologico nell'insieme di interrogativi e approcci metodologici con cui avvicinare i viventi, gli organismi sono e devono essere comunque compresi anche al di sotto di tale livello di complessità. Detto altrimenti, si danno strutture e vincoli filogenetici contingenti al percorso evolutivo di una certa specie e numerosi effetti nei processi biologici, così come eventi evoluzionistici, sono accidentali. Non si tratta di considerazioni marginali, perché viceversa i principi metodologici delle scienze naturali – *in primis* quello di semplicità – esigono a rigore che si ricorra al concetto di causa unicamente a fronte di correlazioni sperimentali e che si lascino i termini generici di causa ed effetto per abbracciare quello più impegnativo di funzione solo quando, ancora, se ne dia una prova chiara.

Già dall'inizio l'ambito teorico della teleonomia reca ben impresso su di sé il segno di una coscienza epistemologica netta: gli organismi viventi e i processi in cui sono coinvolti comportano un livello di analisi che non è stato ignorato dagli studiosi di storia naturale del passato, ma che deve essere recuperato in una forma scientificamente coerente, perché appunto il carattere non scientifico di quelle trattazioni lo fraintende e rende sterile. In questo senso la stessa esitazione che contraddistingue i biologi nel pronunciarsi su certi fatti, come che un animale raggiunge la riva per deporre le uova o che gli occhi servono per vedere, testimonia la forza che immagini, formule e concetti teleologicamente connotati ancora esercitano in negativo. Usare tale repertorio di strumenti teorici può dunque venire sdoganato tagliando il legame che li unisce a torto a rappresentazioni della natura e della vita che le scienze negano o su cui, almeno, non si esprimono: una nuova denominazione, quella di teleonomia, salva il debito evidente ma del tutto superficiale con la biologia aristotelica e in generale pre-evoluzionistica, per riaprire gli studi all'interesse dei naturalisti contemporanei. Emerge tuttavia già in questi primi autori uno spettro di interpretazione della nuova disciplina – e dei fenomeni che descrive – potenzialmente divergente. Anzitutto va posta attenzione proprio a quell'idolo negativo in antitesi a cui le ricerche teleonomiche si dipartono e sviluppano, cioè la teleologia: a ben guardare, sotto quello che viene reputato un errore scientifico sono confuse assieme

espressioni culturali assai varie, dall'aristotelismo alla religione cristiana al vitalismo alla teologia naturale e agli evoluzionismi non darwiniani, soltanto per indicare alcune categorie generali in gioco. Essendo ciascuno di questi elementi in se stesso eterogeneo, appartenendo magari a dimensioni del sapere e dell'esperienza umana differenti, l'impressione è che il collante che li tiene uniti sia un fortissimo postulato, quasi storico-filosofico, sul valore rivoluzionario delle scienze naturali in confronto alla conoscenza in generale e, più precisamente, su quello corrispondente della Sintesi Moderna nelle scienze della vita. Dopodiché la teleonomia in se stessa, tentando di recuperare un vasto ambito di conoscenze che va riformulato in chiave evoluzionistica, è attratta dalle diverse interpretazioni che aspetti della complessità biologica necessariamente implicano. Per Pittendrigh i viventi sono teleonomicamente articolati in quanto la loro articolazione strutturale non può non estendersi al dominio dei fini della loro attività, gerarchicamente disposti; Simpson allenta la sovrapposizione tra la natura organizzativa e quella adattativa di un organismo, insistendo sulla mera casualità della presenza di certi tratti in un individuo; Huxley incamera la teleonomia all'interno della propria rappresentazione del progredire evolutivo, per cui la selezione di tratti casuali genetici determina enormi trasformazioni morfologiche adattative; per Davis, Monod e Jacob le strutture e il metabolismo cellulari esibiscono teleonomia in quanto finemente integrati e regolati, specie da meccanismi biochimici retroattivi; per Williams infine il soggetto principale di questa nuova disciplina deve essere l'adattamento, pur riconosciuta l'intromissione nel fenomeno di fatti casuali o contingenti. Adattamento, organizzazione e regolazione, dentro una cornice in cui più o meno variamente agiscono il caso e la storia naturale, sono quindi i toni che, ora con un accento ora con un altro, contraddistinguono la teleonomia al suo esordio.

II

Programmi e fini: Mayr e il problema del teleologico

Una delle voci che intervenne per prima e in modo incisivo, all'atto di introduzione della teleonomia nelle discussioni di biologia teorica, è quella di Mayr. Oltre ad avere contribuito con un suo scritto alla medesima opera in cui Pittendrigh coniò il nuovo concetto, pochi anni dopo questo autore se ne servì per risolvere alcuni nodi dell'evoluzionismo, che legano assieme la causalità *sui generis* nelle manifestazioni del vivente, la relazione intricata di ontogenesi e filogenesi e appunto la dimensione di finalità che connota evidentemente il comportamento degli organismi. La tematica è una di quelle più importanti, data la volontà di creare una filosofia della scienza adeguata alle particolarità epistemologiche delle scienze della vita, e pertanto sarebbe stata nuovamente affrontata, ridefinita e criticata nei decenni a venire. Concentrandosi sulla storia delle idee scientifiche ma anche, in effetti, sulla logica intrinseca del dibattito e delle diverse opinioni che lo hanno animato, la teleonomia così come Mayr la rappresenta non è che una delle molteplici elaborazioni che tentarono di cogliere e sviluppare il suo potenziale teoretico. Il significato di questa personale e peculiare rappresentazione deve allora essere a ragione inserito nel contesto delle discussioni abbozzato nel primo capitolo, riconoscendo che i suoi caratteri si sommano alle variegata sfaccettature che già altri autori hanno intagliato su questa nuova versione della finalità. Nondimeno, il peso e l'influenza teorica di uno dei fondatori della Sintesi Moderna, uniti alla determinazione e al grado di approfondimento con i quali seppe entrare nelle pieghe della teoria dell'evoluzione, rendono forse necessario trattare a parte la sua posizione riguardante il teleologico. In più, giustifica lo spazio qui riservato alle idee di Mayr il fatto che, via via più particolareggiata, la definizione della teleonomia porta alla luce alcuni assunti cardinali di una generale e spesso implicita attitudine teoretica verso i fini e, in questo senso, anche le sue contraddizioni. Dopo aver tratteggiato la biografia e la figura intellettuale del naturalista, per quanto

possibile nella sua globalità, il secondo capitolo si sofferma su due scritti in particolare: *Cause and Effect in Biology* del 1961 – dove riallacciandosi a Pittendrigh si riprende e fa proprio il termine «teleonomia» – e poi *Teleological and Teleonomic, a New Analysis* del 1974, che mira a riclassificare per intero il panorama degli oggetti teleologici in senso lato, escludendo ad alcune categorie una reale dimensione di finalità. Sebbene in altri articoli e in saggi più estesi, specificamente o a margine, il tema sia ripreso e corretto, può essere sufficiente guardare ai concetti e all'argomentazione che si dispiegano in questi luoghi per mettere a fuoco i punti salienti della critica di Mayr alla teleologia e, di conseguenza, al contenuto della sua forma di teleonomia. È difatti qui che si avanza il modello completo del «programma», soprattutto genetico, importandolo dalle scienze dell'informazione e dall'ingegneria: non soltanto esso svolge un ruolo centrale nella definizione di quali fenomeni siano teleonomici e perché, ma invero si presenta come strumento concettuale utile nel tentativo complesso di rendere trattabile e accettabile sotto l'aspetto scientifico la finalità in generale. Immagine caratteristica del teleonomico nella versione che ne fornisce Mayr – negli altri teorici è in certi casi forse implicita, però sostanzialmente assente –, i programmi condensano quindi nella concettualità in cui sono articolati gli aspetti critici di una visione meccanica dei viventi, a fronte delle promesse esplicative che vantano. Pur non essendo insolubili, i problemi divengono evidenti nel momento in cui i comportamenti teleonomici sono ritratti e individuati in modo sempre più rigido e, in parallelo, vengono di fatto contrapposti alla «teleologia cosmica», concezione generale e provvidenziale dell'universo che, alla fine, è l'unica e l'ultima a potersi dire teleologica.

2.1 Profilo teorico dell'opera di Mayr

Già citato per la parte che ebbe, soprattutto in quanto sistematico, nell'elaborazione della teoria sintetica, Ernst Mayr (1904-2005) fu protagonista in generale del processo di istituzione, consolidamento e ampliamento del neodarwinismo, di cui si mostrò un difensore e un accorato e instancabile propugnatore della visione della natura e insieme del posto degli uomini in essa. La vastità e autorevolezza delle sue posizioni, che vogliono abbracciare di proposito ambiti sottodisciplinari diversi delle scienze biologiche, vennero dedicate, specie da un certo punto in avanti della sua carriera, all'esplorazione delle radici

storico-concettuali dei problemi incontrati. Il tema della teleologia, si può quindi dire, era avvicinato a partire sia dalla sua rilevanza intrinseca, nei modi in cui informa la descrizione dei viventi, sia dal ruolo ricoperto nell'atteggiamento interpretativo dei naturalisti del passato. È opportuno pertanto richiamare alcuni motivi ricorrenti della cornice teorica che complessivamente sostiene la visione che Mayr presenta dell'evoluzione e dei fatti biologici in senso lato, per come via via vennero inquadrati nel suo lungo e ricchissimo percorso di vita, ricerca e riflessione.

Pur senza sminuire i contributi più chiaramente speculativi forniti alla biologia evolutiva – oltre alle importanti ricadute negli sviluppi della disciplina –, il nervo dell'opera di questo autore è orgogliosamente e in maniera significativa quello di un naturalista da campo, fine e preciso osservatore da un lato e classificatore sagace dall'altro⁵⁰. Mayr apparteneva alla media borghesia intellettuale della Germania imperiale e negli anni difficili della Prima Guerra Mondiale, seguita dalla caduta dell'Impero e dall'ascesa della debole Repubblica di Weimar, accentuò la sua fede razionalista nella scienza quale uno dei pochi ambiti del sapere in grado di assicurare certezza e promettere il progresso della società⁵¹. Appassionato sin dall'infanzia agli uccelli, nel corso della sua formazione

⁵⁰ Come ricorda DIAMOND JARED, Ernst Mayr (1904-2005), *Nature* 433.7027 2005, pp. 700-701, qui p. 700, è nel campo dell'ornitologia che si deve annoverare uno dei contributi principali delle ricerche di Mayr alla biologia: «era il massimo esperto di uccelli della Nuova Guinea e del Pacifico sudoccidentale tropicale; ha descritto più specie e sottospecie di uccelli viventi che chiunque altro della sua generazione e di quelle successive». In JUNKER THOMAS, Factors Shaping Ernst Mayr's Concepts in the History of Biology, *Journal of the History of Biology* 29.1 1996, pp. 29-77, questo conta come uno dei contesti di riferimento entro cui situare lo sviluppo della riflessione dell'autore, che influisce ben al di là delle spedizioni naturalistiche e della pratica tassonomica. Cita al riguardo BOCK WALTER J., Ernst Mayr, Naturalist: His Contributions to Systematics and Evolution, *Biology and Philosophy* 9.3 1994, pp. 267-327, qui p. 268, e HULL DAVID L., Ernst Mayr on the Philosophy of Biology: A Review Essay, *Historical Methods: A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History* 23.1 1990, pp. 42-45, per il primo dei quali per esempio «chiaramente tutte quante le idee di Mayr in biologia evolutiva, filosofia e storia sono solidamente fondate nella sua esperienza di naturalista e sui suoi primi studi in sistematica ornitologica». Non casualmente Mayr riconosce l'importanza scientifica e persino filosofica dell'osservazione naturalistica già nella sensibilità di Darwin: «Darwin era prima di tutto e soprattutto un naturalista. Il suo metodo prediletto era anche quello del naturalista... Era un osservatore veramente capace e non c'è dubbio che l'osservazione fosse il suo approccio più produttivo» (MAYR, The Philosophical Foundations of Darwinism, *Proceedings of the American Philosophical Society* 145.4 2001, pp. 488-495, qui pp. 488-489).

⁵¹ Facendo riferimento a RINGER FRITZ K., *The Decline of the German Mandarins: The German Academic Community, 1890-1933*, Cambridge (MA) 1969, si può inserire la famiglia e l'educazione giovanile di Mayr in questa *Bildungsbürgertum*: oltre a un relativo disinteresse per la politica, corrisposto dai drammatici rovesci di potere che segnarono la fine dell'Era Guglielmina, ne era caratteristico l'ideale della *Bildung*, ossia l'ambizione di guardare comprensivamente al sapere e di allacciare così una rete di interessi culturali vari e interdisciplinari. Da qui emergerebbe il lato «sintetico» della speculazione dell'autore, congeniale al clima di ricostruzione generale della biologia negli anni del programma di ricerca neodarwiniano. Tali le considerazioni in BURKHARDT RICHARD W. JR., Ernst Mayr: Biologist-Historian, *Biology and Philosophy* 9.3 1994, pp. 359-371 e JUNKER, Factors Shaping cit., 1996.

concentrò in modo sempre più consapevole le sue energie sull'ornitologia e la zoologia in generale: sotto la tutela di Erwin Stresemann, presso cui svolgeva il dottorato all'Università di Berlino, ottenne prima un ruolo all'interno del museo universitario e dopo un incarico per studiare e classificare i volatili tropicali. Durante la spedizione, rischiosa ma condotta per più di due anni con un successo enorme, coprì regioni montuose particolarmente inaccessibili della Nuova Guinea e l'arcipelago delle Isole Salomone, nel Pacifico Sudoccidentale. Successivamente contattato dal Museo Americano di Storia Naturale di New York, si spostò negli Stati Uniti, dove lavorò intensamente per dieci anni al riordino dei campioni e alla loro sistematica, decidendo inoltre di eleggere il paese a sua seconda patria. Gli uccelli sarebbero rimasti la sua specializzazione disciplinare anche negli anni a venire, durante il periodo di gestazione della Sintesi Moderna e poi quello di insegnamento e ricerca all'Università di Harvard. *Systematics and the Origin of Species* rappresenta il primo grande lavoro teorico di Mayr, dove si cerca di fondare una nuova tassonomia che aggiunga agli strumenti di analisi tradizionali i dati della biologia evoluzionistica più recente, come la speciazione e altri meccanismi evolutivi. Oltre la biologia teorica, tuttavia, fu il *Darwin Centennial* del 1959, anniversario della pubblicazione dell'*Origine delle specie*, a stimolare l'interesse per la storia da parte di questo e di diversi autori legati alla Sintesi Moderna. Fortemente debitore verso Lovejoy e il suo *La grande catena dell'essere*, un modello di storiografia che si propone di concentrarsi sulle idee che foggiano vari aspetti dell'orizzonte culturale di un certo periodo, cominciò infatti ad approfondire i momenti della cosiddetta Prima e Seconda Rivoluzione Darwiniana (quella cioè innescata dalle ricerche di Darwin e quella dei suoi proscrittori novecenteschi). Nella consapevolezza che, tuttavia, il valore della storia e della filosofia della biologia risiede non solo nel loro essere un'introduzione alla pratica scientifica, ma anche nel fatto che forniscono il retroterra teorico delle discussioni ancora pendenti nella contemporaneità, Mayr raffina lo statuto filosofico della teoria sintetica in un più esteso panorama di concezioni del mondo⁵². A ben guardare, quando riprende Lamarck, Agassiz e Weismann

⁵² Per quanto concerne il *Darwin Centennial 1959*, JUNKER, *Factors Shaping* cit., 1996, p. 39 insiste sulle motivazioni non solo storiche della sua celebrazione: «la moderna teoria sintetica dell'evoluzione viene considerata il più recente ramo del darwinismo e il meccanismo darwiniano della selezione naturale è il suo nucleo teorico». Mayr stesso rende esplicita una simile opinione in MAYR, *Darwin and the Evolutionary Theory in Biology*, in MEGGERS BETTY J. Ed., *Evolution and Anthropology: A Centennial Appraisal*, Washington (DC) 1959, pp. 1-10 e, nell'insieme, la sua personale rappresentazione della continuità nella biologia darwiniana è letta appunto seguendo lo schema insegnato da Arthur O. Lovejoy, pensatore e storico

sino alla monumentale monografia *Storia del pensiero biologico*, il fuoco dei suoi interessi è primariamente quello di saggiare la tenuta e per converso la problematicità di ipotesi e teorie attuali, individuando le cause in genere negative che hanno ritardato o, al limite, soppresso l'acquisizione di una adeguata rappresentazione scientifica nei fenomeni del vivente. In tale senso questa dimensione della sua opera muove intenzionalmente da una formazione professionale compiuta nel solco della biologia per conquistare un ambito disciplinare di per sé diverso da quello delle scienze naturali – l'epistemologia e la storia della scienza – nella dichiarata convinzione che non si possa prescindere da un punto di vista interno e bene informato sull'oggetto delle trattazioni⁵³.

Quella darwiniana appare come una rivoluzione delle più dirompenti, in primo luogo perché agli occhi di Mayr è un ulteriore segno dell'emancipazione della scienza dai lacci della religione e della filosofia e in secondo luogo perché inaugura un modo nuovo di fare e rappresentare l'esperienza scientifica. Malgrado certe ambiguità di fondo, specie verso il ruolo storico e presente dei filosofi rispetto all'espansione delle scienze naturali, a mano a mano che ci si allontana nel passato le concezioni del vivente propriamente

delle idee statunitensi di origini tedesche. *The Great Chain of Being: A Study of the History of an Idea* mette al centro dell'indagine dello storico il concetto di una «grande catena dell'essere» (l'universo di ciò che esiste pieno di enti che gradatamente sfumano per caratteri uno nell'altro secondo una scala ascendente) ed è occupato a svolgerne la formazione, i diversi riarrangiamenti e l'abbandono, in modo trasversale ai vari ambiti della cultura europea moderna. L'attitudine storiografica di Mayr, parimenti, è improntata a risolvere il passato dell'evoluzionismo in «idee-unità» che ricombinandosi segnano finalmente l'approdo alla visione neodarwiniana del vivente. Si può vedere quindi LOVEJOY ARTHUR O., *The Great Chain of Being: A Study of the History of an Idea*, Cambridge (MA) 1936 (trad. it. di Formigari Lia, *La grande catena dell'essere*, Milano 1981).

⁵³ BURKHARDT, Ernst Mayr cit., 1994 rileva che una certa conoscenza e passione delle scienze storiche apparteneva a Mayr in quanto appunto influenzato dall'educazione borghese tedesca di fine Ottocento, ma, come meglio sottolinea JUNKER, *Factors Shaping* cit., 1996, è senz'altro il *Darwin Centennial* a fornire l'occasione di entrare nella materia in prima persona, poi sempre più vigorosamente frequentata dopo il ritiro dagli impegni accademici negli anni 1970. Uno stimolo di tono negativo, al contrario, venne dalla lettura di *Darwin and the Darwinian Revolution* della storica americana Gertrude Himmelfarb (HIMMELFARB GERTRUDE, *Darwin and the Darwinian Revolution*, London 1959) e dalla traduzione della *Biologins historia* di Erik Nordenskiöld, biologo svedese (NORDENSKIÖLD ERIK, *Biologins historia. En överblick* voll. III, Stockholm 1920-1924). «Se dovessi scrivere una storia di questa disciplina», Mayr pensava in una recensione a un altro libro di questo genere, degli anni 1950, «proverei a mostrare come la crescente maturità negli ambiti che vi hanno contribuito finalmente permisero questa sintesi». In altri termini, pur eventualmente riconoscendo l'accuratezza biografica o sociologica di ricostruzioni storiografiche dell'evoluzionismo, lamentava l'incapacità, da parte di storici in senso stretto, di penetrare adeguatamente nella teoria delle ricerche scientifiche contemporanee e perciò, a suo modo di vedere, di riuscire a leggerne correttamente il passato. MAYR, *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*, Cambridge (MA) 1982 (ed. it. a c. di Corsi Pietro, trad. di aa.vv., *Storia del pensiero biologico. Diversità, evoluzione, eredità*, Torino 1990) è probabilmente la piena espressione di un simile approccio alla storiografia della scienza: i problemi posti dallo studio attuale dei viventi, a opera di un osservatore interno al novero dei biologi professionisti, consentono di capire gli sviluppi della disciplina nel tempo e ne informano la ricostruzione storica.

scientifiche diminuirebbero e apparirebbero confuse in misura irrecuperabile con aspetti generali della cultura di quei secoli, filosofici, spirituali o antropologici in senso lato. Ateo e antireligioso⁵⁴, la teologia naturale cristiana che dominava la Gran Bretagna durante il primo Ottocento gli sembra condensare l'essenza della spiritualità e al tempo stesso tutta la forza di una visione della natura ingenua e recalcitrante alla scienza. L'ortodossia esige l'accettazione letterale del dettato delle Scritture e, perciò, il credere nell'esistenza di Dio creatore e di un suo ruolo attivo e pervasivo nel governare il creato, che in quanto specchio della perfezione divina possiede a sua volta un ordine stabile e armoniosamente perfetto. Studiosi di cose naturali e intellettuali del periodo inserivano le proprie ricerche all'interno di una cornice così disegnata, dove le leggi che scoprivano nella storia della Terra e dei viventi venivano fatte risalire a prove materiali dell'intervento e della presenza di Dio. Questo «fondamentalismo», esemplificato dalla *Teologia naturale* di Paley e dai *Trattati di Bridgewater*, sarebbe stato smascherato e rigettato da Darwin, il quale porta numerose e tanto decisive prove sperimentali dell'evoluzione e del meccanismo di selezione naturale che dopo l'*Origine delle specie* la maggior parte della comunità scientifica riconosce la sua teoria. Pensare l'evoluzione dei viventi consente anzitutto di liberarsi dell'età estremamente breve della Terra, che mal si adatta al graduale accumulo di conoscenze circa i suoi ripetuti e notevoli mutamenti geologici: il pianeta e i suoi ambienti non sono cioè un mondo statico preordinato nei suoi diversi aspetti dall'intelligenza creatrice. Anche in quella porzione di natura costituita dalle specie viventi, pertanto, il carattere dinamico dell'interpretazione evoluzionistica e darwiniana in particolare scardina il modello della *scala naturae* e rende conto di una mole di informazioni altrimenti incomprensibili: la perfezione non è un criterio di organizzazione biologica e, viceversa, il caso e le contingenze giocano un ruolo esplicativo forte. Infine, ciò a cui la teologia naturale e la religione danno libera e compiuta espressione, ossia la convinzione

⁵⁴ Mayr si definisce ateo, nella schietta persuasione che «non c'è nulla che sostenga l'idea di un Dio personale» (così intervistato in SHERMER MICHAEL & SULLOWAY FRANK J., *The Grand Old Man of Evolution*, *Skeptic* 8.1 2000, pp. 76–82, qui p. 82) e che pensare le scienze dell'evoluzione sia incompatibile con la fede religiosa. Da storico delle idee, Greene ha dedicato largo spazio non solo alla genesi della visione darwiniana dei viventi, ma anche alle propaggini più recenti dell'evoluzionismo e in particolare al significato socio-culturale delle tesi di Huxley e Mayr: in questa direzione GREENE, Science, Philosophy, and Metaphor in Ernst Mayr's Writings, *Journal of the History of Biology* 27.2 1994, pp. 311-347 precisa concettualmente quell'ateismo che non è solo stato esistenziale come «antiteleologico, antiteista e anticreazionista». Un poco differentemente, nel corso della *querelle* alla *Revue de synthèse* del 1986, Gould lo ha conteso fra i «razionalisti anticlericali» (GOULD STEPHEN J., Commentary on Greene and Mayr, *Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 238-242).

di una specialità sovranaturale e unica degli uomini nei confronti del resto del creato, viene destituita di fondamento a vantaggio del riconoscimento di quella umana come una fra le molte specie animali soggette a evoluzione e selezione non meno delle altre. La confutazione scientifica dell'antropocentrismo, se rimaneva amara per la *forma mentis* della società inglese vittoriana, non è tuttavia ancora accolta dalle correnti religiose contemporanee che si richiamano all'idea di un progetto intelligente divino per spiegare l'ordine naturale⁵⁵.

Storicamente, nel lungo corso, la filosofia sembra concorrere con gli scienziati a opporsi al predominio ideologico delle religioni, ma l'imporsi dell'evoluzionismo, più recentemente, ha dovuto fronteggiare la resistenza proprio di assunti filosofici con esso incompatibili e però profondamente radicati. Il più decisivo risultò quello che genericamente può essere chiamato «essenzialismo»⁵⁶ e che, nel dettaglio delle teorie biologiche, ha assunto le fattezze dell'atteggiamento concettuale tipologico. Platone e i pitagorici, i migliori esponenti di questa teorizzazione e responsabili della sua eco fino ai nostri giorni, diffidavano della molteplicità e varietà nelle apparenze del reale e, giudicandole poco consistenti, le ritennero come ombre di «essenze» che invece sarebbero permanenti, omogenee e chiaramente definite le une rispetto alle altre. Questa concezione della realtà, passata attraverso la Scolastica medievale, ha plasmato anche la mentalità dei naturalisti moderni, evoluzionisti e non: in effetti prima di Darwin le specie non riuscivano a non

⁵⁵ In MAYR, *Philosophical Foundations* cit., qui p. 490, «fondamentalismo» è, *de facto*, «una accettazione letterale di ogni vocabolo della Bibbia», «il punto di vista normale di ciascun cristiano ortodosso» prima dell'*Origine delle specie*. Nel dettaglio, in MAYR, *The Nature of the Darwinian Revolution*, *Science* 176.4038 1972, pp. 981-989, qui pp. 987-988, il rifiuto del creazionismo, assieme all'abolizione dell'antropocentrismo, viene abbracciato tra le sei componenti fatte deflagrare dalla Rivoluzione Darwiniana. «Era interessato non semplicemente il riconoscimento di una nuova teoria, come in alcune altre rivoluzioni scientifiche, ma di un mondo concettuale integralmente nuovo, consistente in numerosi concetti e credenze separati. E non soltanto erano teorie scientifiche a essere coinvolte, bensì anche un intero ordine di credo metascientifici», che sono «la religione, la filosofia e l'umanesimo».

⁵⁶ L'essenzialismo, concepito in modo esplicito riprendendo il lessico di Popper nella *Società aperta e i suoi nemici* – si rimanda a POPPER KARL R., *The Open Society and its Enemies*, London 1945 (trad. it. di Pavetto Renato, *La società aperta e i suoi nemici*, Roma 1973) –, è una *forma mentis* oltre che un genere di sistema filosofico e, scalzato dal panorama intellettuale grazie a Darwin, pure conserva larga presa in ragione della sua tradizione plurisecolare. Come notato in GREENE, *From Aristotle to Darwin: Reflections on Ernst Mayr's Interpretation in The Growth of Biological Thought*, *Journal of the History of Biology* 25.2 1992, pp. 257-284, qui p. 261, «Platone è identificato come il cattivo del racconto, "il grande antieroe dell'evoluzionismo" che inventò il mito del Demiurgo per spiegare la bellezza ordinata dell'universo; che insistette sul ruolo dell'"anima" in natura, che postulò forme costanti, o *eide*, di cui i fenomeni variabili dell'esperienza dei sensi non erano che povere imitazioni e che conseguentemente guardò la matematica, specie la geometria, come la chiave per capire la natura». Il fisicalismo scientifico è pertanto ricondotto a una matrice platonica, così come, al di fuori dell'ambito della scienza, il razzismo che coerentemente classifica per tipi la variabilità biologica individuale degli uomini. Si vedano MAYR, *Darwinian Revolution* cit., pp. 983-984 e 988 e MAYR, *Philosophical Foundations* cit., pp. 491-491.

essere intese che come essenze o «tipi», ossia l'autentica e piena realtà del vivente era una forma della specie stabile e dai contorni netti, che la separa in modo discontinuo ed evidente dalle altre specie. Ciò abbracciava l'ipotesi di una creazione, coerente con i dogmi religiosi cristiani, e tuttavia non riguardava solo il pensiero di antievoluzionisti, perché sarebbe caratteristica propria della speculazione darwiniana, estranea addirittura a suoi vicinissimi come Huxley, vedere le specie, la loro distribuzione spaziale e la loro filogenesi come processi popolazionali. Reale non è quindi un tipo in qualche modo ideale che racchiude e meglio rappresenta la specie oltre le divergenze locali e individuali dei singoli caratteri: reali sono le varianti effettivamente osservabili e attive negli esemplari individuali, che solo nella loro piena e contingente eccezionalità possono segnare un vantaggio o uno svantaggio relativi nel corso degli eventi a loro volta contingenti che interessano ecologicamente il gruppo immediatamente più esteso rispetto a un esemplare, ovvero la popolazione a cui appartiene. Siccome il tipo diventa così una astrazione, al più utile nella pratica del riconoscimento o nelle esigenze della comunicazione, la natura particellare e graduale di simili variazioni individuali consente di comprendere la comparsa di una nuova specie a partire dalla variabilità già esistente tra le popolazioni e soprattutto fra gli esemplari singoli di un'unica popolazione. L'importanza di questa costellazione concettuale – variabilità, individualità ed eccezionalità – è legata invero a una sequenza di altre basi teoriche che fondano una filosofia della scienza e una scienza molto diverse dal modello allora dominante contenuto nella meccanica newtoniana.

Già soltanto come scienziato, per Mayr, Darwin è stato infatti rivoluzionario: gli organismi viventi, gli oggetti della sua disciplina, sono *in toto* naturali e descrivibili rimanendo nell'ambito della natura, però respingono decisamente tutte le qualità che devono contraddistinguere i fenomeni della fisica meccanica ottocentesca. Non si riconoscono se non considerandone le proprietà uniche e irripetibili, sono esito di una traiettoria storica altrettanto irriproducibile – anche sotto l'aspetto sperimentale – e nella sua globalità l'evoluzione è refrattaria a un vero determinismo, compromessa com'è da caso, imprevisti, contingenze ecologiche locali e imprevedibilità futura. Quello che l'evoluzionismo darwiniano fa – e che la teoria sintetica oggi deve proseguire a fare – è dunque marcare l'autonomia e l'indipendenza delle scienze biologiche di fronte a un modello di scienza indebitamente invasivo, cioè quello della fisica di Newton o comunque della riduzione fisikalistica dei decenni più recenti, dove l'attrazione è esercitata dalla genetica

e dalla biochimica. Al di là del ruolo primario svolto dalla casualità, ne è testimonianza il mancato – e arduo – ricorso all’elaborazione di ‘leggi evoluzionistiche’, che corrispondano per funzione teorica e validità alle leggi naturali della meccanica: quando anche si possa parlare di leggi, si è di fronte piuttosto a regolarità che ammettono eccezioni e schemi di regolarità alternativi, evidentemente contraddittori con le precedenti se si adottasse scrupolosamente il carattere universale e deterministico delle leggi fisiche⁵⁷. Sotto il profilo epistemologico la biologia si presenta di conseguenza come una scienza eminentemente concettuale e storica, non nomologica e antiriduzionistica: non scopre o propone leggi, bensì interpreta il dominio del vivente grazie a una fertile batteria di strumenti teorici ed esperimenti di pensiero e, essendo la sua forma più compiuta la cornice evoluzionistica in senso proprio, mira a ricostruire per scenari plausibili, che muovono dallo stato di cose e dai materiali del presente, quale narrazione sia più aderente all’evoluzione storica del passato. In una tale prospettiva ridurre i fenomeni biologici ai loro costituenti e processi elementari, come usano fare gli scienziati che si occupano di cellule, metabolismo o sviluppo embrionale, è lecito e tuttavia, poiché riguarda le cause prossime e immediate della vita, non adempie alle questioni più grandi e profonde della biologia, che acquistano senso invece alla luce del giro di tempo lunghissimo dell’evoluzione e di una concezione integrale dell’organismo come genotipo internamente articolato e interattivo dal punto di vista ecologico. Spezzettare un individuo in una collezione di geni indipendenti gli uni dagli altri e dai contesti ambientali di riferimento impedirebbe difatti di tenere sotto un unico sguardo la complessità peculiare dell’organico, sorprendente all’analisi e proprio per ciò soggetta a evolvere⁵⁸.

⁵⁷ Dice JUNKER, *Factors Shaping* cit., pp. 44 che «una delle osservazioni preferite di Mayr è che la moderna ricerca biologica ha documentato quanto complessi siano i fenomeni biologici e, di conseguenza, i concetti biologici. In biologia difficilmente ci sono leggi universali e “in forte contrasto con fisica e chimica quasi ciascuna situazione ed elemento possiede un aspetto unico”. Nella biologia la storia trionfa sulla logica, l’evoluzione sulla funzione». Sul suo pensiero antifisicalistico e contro l’empirismo logico di metà Novecento, più estesamente Ivi, pp. 44-47 e 51-53. In MAYR, *Philosophical Foundations* cit., pp. 493-494, il newtonianesimo compare prima come cornice deterministica che si è frapposta al riconoscimento del ruolo giocato dal caso nella teoria di Darwin, che in ragione del predominio di tale versione fisicalista della causalità «a sua volta prestò stretta adesione superficiale a un simile determinismo». Dopodiché, ha modellato l’uso darwiniano del concetto di «legge», che tuttavia viene impiegato «in modo molto libero» e non riguarda «i principi basilari della materia come fanno le leggi in fisica».

⁵⁸ La meccanica newtoniana, la fisica insomma, si erge su leggi naturali dove invece la struttura della biologia evoluzionistica sarebbe concettuale, ossia ipotesi e teorie biologiche sono «basate su *concetti* piuttosto che leggi», quali «selezione naturale, lotta per l’esistenza, competizione, biopopolazione, adattamento, successo riproduttivo, scelta della femmina, dominanza del maschio». «Ne risulta che una filosofia della fisica basata su leggi naturali riesce qualcosa di alquanto differente da una filosofia della biologia basata su concetti» (così MAYR, *Philosophical Foundations* cit., p. 494). Segnano ulteriore distanza dalla meccanica il

In conclusione, il carattere antiteleologico del meccanismo di selezione naturale avrebbe rappresentato secondo Mayr una nuova conquista scientifica e una notevole presa di distanza da visioni filosofiche e religiose, che ne facevano generalmente quasi l'architrave delle loro costruzioni intellettuali sull'universo e sul vivente in specie. Fini e finalità, per come sono stati tradizionalmente intesi a spiegare i viventi, costituiscono un ostacolo, di origine probabilmente antropomorfa, all'elaborazione di una teoria dell'evoluzione, perché i suoi postulati di base e la complessiva attitudine teoretica li respingono e vengono d'altro canto adeguatamente compresi solo escludendoli. Teleologia è, in modo alquanto confuso, un appello a un ordine della natura in ragione degli scopi che le sue componenti avrebbero fino a completarsi in uno scopo universale, dentro una intelaiatura retta provvidenzialmente dalla divinità responsabile della sua generazione e del suo governo oppure comunque votata alla perfezione e al progresso. Ciò diviene evidente nella dottrina cristiana della creazione e, dunque, in sue espressioni come la teologia naturale, ma la si può rintracciare nondimeno nelle filosofie che dominavano l'immaginario e le speculazioni alle spalle dei naturalisti preevoluzionisti⁵⁹. Scorgere l'azione di forze non meccaniche e immateriali, che attraversino gli organismi e spieghino la vita e gli altri fenomeni a essa connessi, appare forse come credere nella superstizione di fantasmi e anime personali che muovono le cose, ossia getta sulla natura caratteri e sentimenti tipicamente umani. L'antropomorfismo sembra interessare un ulteriore momento del

carattere storico-ricostruttivo dell'evoluzionismo e il suo organicismo: il primo dipende da che oggetto di indagine è il fluire evolutivo, ovvero fenomeni ed esseri che si trasformano e si sviluppano nel tempo, mentre il secondo punto concerne la natura organicamente articolata del genotipo, che deve venire inteso come una «unità». GREENE, *Science, Philosophy, and Metaphor* cit., pp. 327-334 analizza questi due elementi della «biologia» o «rivoluzione storico-organicista» di Mayr. FUTUYMA DOUGLAS J., Ernst Mayr and Evolutionary Biology, *Evolution* 48.1 1994, pp. 36-43 approfondisce poi nello specifico il ruolo dell'«unità del genotipo», che veniva dalle ricerche di genetisti come Timofeev-Resovskij, Dobzhansky e Lerner su popolazioni naturali, contrapposta a teorizzazione e tendenze interpretative di genetisti prevalentemente matematici o di laboratorio quali Fisher, Haldane e Wright, impreparati a nozioni di sistematica e storia naturale.

⁵⁹ Se di «fini», *ends* o *goals*, si può parlare in biologia, questi sono prevalentemente risultati dell'esecuzione del programma genetico di un organismo, che è tale e tale si svolge perché *a posteriori* di quei risultati è stato selezionato. Differente per esempio è già la caratterizzazione di strutture o processi organici adattativi, i quali dimostrano uno stato di adattamento o funzionalità senza tuttavia comportare un movimento «indirizzato a uno scopo», *goal-directed*. Per paradosso, l'intenzionalità del comportamento umano viene reinserite nel novero dei fenomeni prima confusamente teleologici solo tardivamente. Da subito invece, in ogni modo, la teleologia si presenta come una «idea» della storia intellettuale, in MAYR, *The Idea of Teleology*, *Journal of the History of Ideas* 53.1 1992, pp. 117-135 addirittura una «ideologia»: «in una forma o in un'altra era la prevalente visione del mondo prima di Darwin. (Invero è una delle relativamente poche visioni del mondo prese sul serio dall'uomo occidentale.)». Teleologia è – e deve solo essere, per chiarezza del linguaggio tecnico – «teleologia cosmica», cioè l'idea o la costellazione di idee, confutate dalla biologia e le scienze dopo Darwin, per cui l'universo è ordinato secondo una provvidenza, uno scopo o un miglioramento.

rapporto degli uomini con le cose naturali nel momento in cui queste sono viste assolvere a un'esigenza di formazione morale, religiosa o spirituale, che si tratti di sancire la giustizia e legittimità di certe pratiche o istituzioni sociali oppure che debbano rinfrancare la mente promettendo il miglioramento dello stato di cose presente. Tanto stringenti sono le maglie di questo *habitus* psicologico umano⁶⁰, che l'interpretazione darwiniana e neodarwiniana del vivente non è stata compresa correttamente se non in modo lento e accidentato e che al contrario all'inizio, pur accettandone la realtà, si è voluto guardare all'evoluzione come a un progredire ascendente verso condizioni via via migliori delle potenzialità biologiche. Le teorie in passato variamente ortogenetiche, saltazionistiche e mutazionistiche mancano di cogliere appunto la natura in se stessa antiteleologica della biologia evolucionistica e, nonostante si presentino come declinazioni scientifiche di questa concettualità, si possono inserire del tutto fra le manifestazioni compromettenti del teleologico. L'evoluzione, così come il reale nella sua globalità, non è rivolto a uno scopo e non produce né è conformato in maniera da produrre necessariamente progresso, maggiore complessità o maggiore raffinatezza. La selezione è un insieme di meccanismi che operano *a posteriori* e che sembrano lavorare in negativo, scartando variazioni e individui relativamente meno adatti: in altre parole, essendo cieca, il risultato di questa operazione non è previsto né rende ragione del sorgere delle varianti o di un loro valore positivo assoluto. Quanto a processi e individui particolari, riconoscere nel loro modo di essere finalità conduce generalmente a quel tipo di distorsioni antropomorfe che abbandonano il campo della scienza e forniscono un'immagine falsata del reale.

⁶⁰ Nonostante espressamente dichiararsi di non voler addentrarsi nella spiegazione della propensione teleologica del pensare umano, Mayr – e con lui diversi altri autori – tiene ben presente il modello mentale della finalità. Non per caso il «comportamento intenzionale», *purposive behavior*, viene inizialmente tralasciato per influsso vuoi della sua indiscriminata estensione al resto della natura vuoi di converso del carattere meccanicistico delle scienze naturali. Quanto al primo punto, per esempio, «né Aristotele né la maggior parte degli altri filosofi antichi fece una distinzione precisa tra il mondo vivente e l'inanimato. Vedevano qualcosa come la vita o l'anima persino nel mondo inorganico. Se si scorge finalità e orientamento a uno scopo nel mondo degli organismi, perché non reputare l'ordine del Kosmos-come-tutto pure dovuto a cause finali, cioè a una teleologia incorporata?» (MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 110). Quanto al secondo punto, invece, «molto del comportamento umano non si distingue per la forma dal comportamento animale. Quest'ultimo, per quanto di solito descritto in termini di stimolo e risposta, è anche altamente 'intenzionale'... Eppure, un comportamento apparentemente 'finalizzato', ossia diretto a uno scopo, negli animali si può discutere e analizzare in termini operativamente definibili, senza il ricorso a vocaboli antropomorfe come 'intenzionale' o 'coscientemente'» (Ivi, p. 94).

2.2 La teleologia nel modello biologico della causalità

Pure in mezzo a un numero abbondante e vario di pubblicazioni, il contributo che Mayr offre allo sviluppo e alla chiarificazione del problema del teleologico occupa una importanza non secondaria nella sua opera e, nell'arco dei decenni, è andato ridefinendosi in una maniera via via più particolareggiata e netta. Per gli scienziati, dopo che la teoria dell'evoluzione è stata rigorosamente articolata, i fini e il lessico della finalizzazione apparterrebbero allo sfondo dello *Zeitgeist* contro cui si stagliano le loro ricerche e quindi, poiché componenti delle rappresentazioni socioculturali del reale, sono materia per la storia delle idee. Se Mayr fa sua e approfondisce questa convinzione, esplicitandone i contenuti soprattutto a partire da quando è cresciuto in lui l'interesse per la storia della disciplina, tuttavia il primo approccio a questi temi si deve da subito anche a ragioni forti intrinseche alla struttura teoretica delle scienze biologiche. In *Cause and Effect in Biology*⁶¹, un articolo uscito nel 1961 a seguito di un convegno che riguardava in particolare la biologia e la sociologia, oggetti e formule esplicative teleologiche sono incasellati, sulla scia di una proposta di Ernest Nagel, dentro la più ampia nozione di causalità scientifica. Per l'analisi del vivente e dell'evoluzione la questione non è svolta come un esercizio di logica o di astrazione speculativa, dal momento che un modello di causalità meccanico, in genere paradigmaticamente estrapolato dalla fisica a partire da Descartes, ha così grossolanamente frainteso i problemi biologici da giustificare in effetti l'emergere di contrapposte teorie vitalistiche. Se esse non possono essere ritenute scientifiche e, pertanto, i viventi e i fenomeni della vita devono comunque ricondursi in qualche modo a fenomeni fisici e chimici, il carattere autonomo della biologia rispetto al meccanicismo cartesiano ne suggerisce uno statuto *sui generis* che ancora non è venuto adeguatamente riconosciuto e promosso. Da naturalista e biologo professionista – un punto di vista interno che convalida il passaggio dalla specializzazione disciplinare alla teoria e alla filosofia delle scienze – l'autore vuole distaccarsi dai ragionamenti della tradizione precedente per impostare su nuove basi il discorso.

⁶¹ MAYR, Cause and Effect in Biology, *Science* 134.3489 1961, pp. 1501-1506. L'intervento di Mayr è inserito nelle Hayden Lectures svoltesi al Massachusetts Institute of Technology nel 1960-61, sul tema appunto della causalità scientifica, affrontato da filosofi e soprattutto scienziati. Pubblicato separatamente, si ritrova anche negli atti del convegno, LERNER DANIEL Ed., *Cause and Effect: The Hayden Colloquium on Scientific Method and Concept*, New York 1965, dove si segnala in particolare il contributo di Ernest Nagel, NAGEL ERNEST, *Types of Causal Explanation in Science*, in LERNER Ed., *Cause and Effect* cit., pp. 11-32.

La causalità, non importa come sia definita in termini logici, si ritiene contenga tre elementi: (i) una spiegazione di eventi passati («causalità a posteriori»), (ii) la previsione di eventi futuri e (iii) l'interpretazione di fenomeni teleologici, cioè «orientati a uno scopo».

I tre aspetti della causalità (spiegazione, previsione e teleologia) devono rappresentare i punti cardinali in qualunque discussione della causalità... La biologia può offrire un contributo significativo a tutti e tre⁶².

Nondimeno, la natura peculiare del biologico impone una decisa riconfigurazione di questi concetti, al punto che, prima di prenderli in esame, vanno premesse alcune categorie epistemologiche fondamentali per lo sviluppo della disciplina. Lontana dall'essere una «scienza uniforme e unificata», è infatti un'«area fra le più complesse» che, superato il livello meramente osservativo e descrittivo, comprende «due campi largamente separati che differiscono enormemente per metodo, *Fragestellung* e nozioni basilari». Gli interessi e l'interrogativo che muovono i ricercatori dell'uno o dell'altro di questi campi disciplinari plasmano due modelli di causalità distinti, che tuttavia possono essere integrati – pena una concezione ristretta quando non fallace della materia –, fino a raggiungere una «completa comprensione del dato fenomeno». Scegliendo come esempio la migrazione degli uccelli, domandarsi quale ne sia la causa isola dapprima il terreno della fisiologia e della «biologia funzionale», contrassegnato dal «Come?»⁶³, «costantemente ripetuto»: vale a dire, come si svolgono l'operazione e l'interazione delle strutture e delle loro sottoparti? come funzionano? Tramite l'esperimento, tecnica condivisa con la fisica e la chimica, l'individuo – sia una cellula, un organo o un organismo – viene ridotto e scomposto

⁶² MAYR, Cause and Effect cit., p. 1501.

⁶³ I due interrogativi corrispondenti alla duplice articolazione delle ricerche biologiche sono *how?*, ossia il come, e *why?*, il perché. Se il «“Come?” Come opera, come funziona?» riassume semplicemente l'atteggiamento metodologico della biologia funzionale, più problematico appare il «Perché?»: «quando diciamo “perché” dobbiamo sempre essere consapevoli dell'ambiguità di questo vocabolo. Può voler dire “da dove?”, ma può significare anche il finalistico “in vista di che?”. È ovvio che l'evoluzionista ha in mente lo storico “da dove?” quando si domanda “perché?”. Ogni organismo, sia un individuo o una specie, è il prodotto di una lunga storia» (MAYR, Cause and Effect cit., p. 1502). «Da dove?» è *how come?*, espressione di origine informale in effetti genericamente equivalente a *why?: how is it that?* («com'è che?») e *how does that come about?* («come ci si è arrivati?») sono possibili modi di sciogliere l'interrogativo, che dunque vuole dare risalto alle ragioni a partire da cui si è pervenuti a un certo stato di cose (PARTRIDGE ERIC & BEALE PAUL, *A Dictionary of Slang and Unconventional English*, London 1984, s.v. «how come?»). «In vista di che?» invece è in originale *what for?*, evidentemente finale nel suo significato. Questa distinzione precisamente binaria – delle domande, dei loro significati e in ultimo del significato di ciascuno dei due campi corrispettivi della biologia – sembra tuttavia dimostrarsi incerta. Da una parte non è difficile leggere gli studi di anatomia e fisiologia come risposta a un perché invece che a un come (per esempio, gli uccelli migrano perché sensibili a certi ritmi fotoperiodici e questi ritmi sono così strutturati perché molecole e complessi biochimici di alcuni loro apparati interni generano certi effetti a livello neurologico), dall'altra parte il perché evoluzionistico indica in modo esplicito un come: come si è andato determinando lo stato attuale o, più brevemente, che cosa è successo? Che sia la biologia evoluzionistica ad avere riservato il perché «ultimo» è, insomma, forse dipendente dal maggiore peso che comunque Mayr vuole attribuirle.

a costituenti semplici di cui sono precisamente controllati e misurati i parametri interessanti. In tal senso gli uccelli in procinto di svernare si presentano mossi da una «causa fisiologica intrinseca», il fotoperiodismo che reagisce al diminuire delle ore di luce giornaliere sotto una certa soglia, e da una «causa fisiologica esterna», appunto il mutamento stagionale del rapporto tra ore di luce e di buio. Eppure, questo ordine di fenomeni non è sufficiente ed è dunque caratteristico del secondo campo della «biologia evoluzionistica» arrivare a domandarsi «Perché?»: ovvero, come si è giunti fino a un simile stato di cose? come è andata la storia? Se, riprendendo le parole del biofisico Delbrück, nell'ambito del vivente ogni cosa è «relativa al tempo e relativa allo spazio» e non costituisce che «un anello in una catena evolutiva di forme cangianti, nessuna delle quali possiede valore permanente alcuno»⁶⁴, le strutture e le corrispettive funzioni scoperte e analizzate nella biologia funzionale sprofondano nei tempi lunghi e lunghissimi dell'evoluzione e della geologia, che spiegano da che cause siano state sagomate. La migrazione stagionale è parimenti intesa quale esito di una «causa ecologica», la penuria di cibo e il rigore dei mesi invernali, e infine di una «causa genetica», ossia questi uccelli (non altri e non altri animali) sono provvisti di un patrimonio ereditario che li rende sensibili a certi stimoli ambientali. Le prime due cause, fisiologiche e «funzionali», si possono qualificare come «prossime» (*proximate*) perché sono una «serie immediata di cause» che «governano le risposte dell'individuo (e dei suoi organi) a fattori immediati dell'ambiente». Viceversa, le altre due, congiungendo la genetica da un lato e l'ecologia dall'altro, sono «ultime» (*ultimate*), «hanno una storia» e «sono state incorporate nel sistema attraverso parecchie migliaia di generazioni di selezione naturale»: sono «evoluzionistiche» in un'accezione forte, cioè «responsabili per l'evoluzione del particolare codice di informazione a DNA di cui ciascun individuo in ogni specie è dotato». Definizioni logiche o formali di causa (per esempio, «una condizione non sufficiente senza cui un evento non sarebbe accaduto» o «un membro di un insieme di ragioni comprensivamente sufficienti senza cui l'evento

⁶⁴ Mayr cita DELBRÜCK MAX L. H., *Aristotle-totle-totle*, in MONOD JACQUES & BOREK ERNEST Eds., *Of Microbes and Life*, New York 1971, pp. 50-55. Max L.H. Delbrück (1906-1981), dopo essersi formato come fisico in Germania – collaborò con Niels Bohr e Wolfgang Pauli –, si spostò negli Stati Uniti e condusse ricerche biologiche, cui applicava metodi di indagine quantitativi come quelli della fisica. L'analisi della genetica e dei meccanismi riproduttivi nei virus batteriofagi furono rilevanti per lo sviluppo della biologia molecolare e nel 1969 gli valsero il Premio Nobel per la Medicina assieme ai colleghi Salvatore Luria e Alfred Hershey. Perciò, le sue parole vengono riprese non a caso nel momento in cui dalla biologia funzionale (sotto certi aspetti biofisica e biochimica) si passa al dominio di quella evoluzionistica: qui appunto, malgrado si sia nell'ambito di una scienza naturale, gli oggetti e gli eventi appaiono del tutto differenti nelle loro caratteristiche salienti da quelli fisici e sono pertanto esclusivamente biologici.

non sarebbe accaduto») si applicano in modo agevole ad alcuni settori più legati alla descrizione fisico-chimica della vita, ma, per quanto in linea di principio ancora valide, «sembrano avere scarso valore operativo in quelle branche della biologia che riguardano sistemi complessi»⁶⁵. Proprio la complessità del dominio del vivente – e dei fenomeni in cui è coinvolto –, congiunta e in qualche misura sovrapposta al suo carattere casuale, singolare ed emergente, genera quel tipo di «indeterminatezza» biologica che, se ne rappresenta l'esplosiva e meravigliosa specificità epistemologica, impedisce di accettare il modello di causalità meccanico così come opera in fisica e, con ciò, le sue promesse di previsione⁶⁶.

A questo punto non sorprende che, divergendo fortemente dalle altre scienze naturali, il dibattito sul senso e la portata della causalità biologica centri il tema del fine quale uno dei nodi teorici da sciogliere oppure da elaborare in una maniera scientificamente consona, pur all'interno della caratteristica autonomia della disciplina dalla meccanica.

Nessuna discussione della causalità è completa quando non viene alle prese con il problema della teleologia. Questo problema ha inizio con la classificazione delle cause a opera di Aristotele, essendo le cause «finali» una delle categorie. Questa categoria è basata sull'osservazione dello sviluppo regolare e finalizzato dell'individuo dall'uovo allo stadio «finale» dell'adulto e dello sviluppo del mondo nella sua interezza dagli esordi (caos?) al suo ordinamento presente⁶⁷.

⁶⁵ Intenzionalmente la «definizione di “causa” in filosofia formale» è contrapposta alla «“causa” esplicativa familiare alla biologia funzionale ed evolutiva»: entrando in attrito con il taglio logico analitico che i neoempiristi hanno impresso alla teoria della scienza, concentrandosi quasi solo sulla meccanica, Mayr porta la pratica del naturalista e i tratti identificativi del biologico dentro le discussioni filosofiche circa la causalità. Ciò ai suoi occhi deve risultare insieme un atto di emancipazione teoretica e di migliore comprensione: per quanto sofisticate e coerenti siano difatti le definizioni logiche, «nell'aver a che vedere con un sistema complesso difficilmente si può ritenere molto illuminante una spiegazione che dica: “Il fenomeno *A* è causato da un insieme complesso di fattori interagenti, uno dei quali è *b*”» Viceversa, «parecchi accesi dibattiti circa la “causa” di un fenomeno biologico sarebbero stati evitati se i due avversari avessero compreso che uno di loro era interessato a cause prossime e l'altro a quelle ultime» (MAYR, *Cause and Effect* cit., p. 1503).

⁶⁶ Una sezione consistente dell'articolo è dedicata in effetti al «problema della previsione», *prediction*, particolarmente sensibile nel momento in cui la biologia debba sino in fondo rientrare nella struttura tipica delle scienze naturali e però, al tempo stesso, rimarcare importanti divergenze interdisciplinari. A differenza di quanto vale in fisica, dove «una teoria riesce a prevedere nella misura in cui riesce a descrivere e spiegare», «la teoria della selezione naturale è in grado di descrivere e spiegare fenomeni con una considerevole precisione, ma non riesce a fare previsioni affidabili». Se la previsione tassonomica – propriamente una generalizzazione, dai caratteri di un certo organismo a quelli di organismi conspecifici o simili – e la previsione a livello di eventi fisico-chimici organici sono altamente solide, rimane nell'indeterminato l'esito futuro di interazioni ecologiche complesse quando non di dinamiche evolutive di lungo periodo. Allora, «uno dei più importanti contributi alla filosofia dati dalla teoria evolutiva è che ha dimostrato l'indipendenza di spiegazione e previsione» (MAYR, *Cause and Effect* cit., pp. 1504-1505).

⁶⁷ MAYR, *Cause and Effect* cit., p. 1503.

A ben guardare sono i canali dello sviluppo ontogenetico – per l'appunto, il fenomeno di crescita e maturazione che porta dall'embrione via via all'adulto attraversando varie fasi vitali – a rappresentare il piede d'appoggio, empiricamente solido, della nozione di finalità nel vivente. «Prima di tutto un biologo», per Aristotele «fu la preoccupazione verso i fenomeni biologici che ne dominò le idee riguardanti le cause e lo indusse a postulare cause finali», ma studiosi e naturalisti da allora «sono stati messi a dura prova dall'apparente contraddizione tra un'interpretazione meccanicistica dei processi naturali e la sequenza di eventi verisimilmente finalizzata nella crescita organica, nella riproduzione e nel comportamento animale». Da cui,

quando Aristotele parlava di cause finali era particolarmente interessato ai meravigliosi adattamenti scoperti ovunque nel regno vegetale e animale. Era interessato a ciò che più tardi alcuni autori avrebbero chiamato progetto o disegno in natura. Ascrisse a cause finali non soltanto mimetismo e simbiosi, ma tutti gli altri adattamenti di animali e piante gli uni agli altri e al proprio ambiente fisico. Gli aristotelici e i loro successori si chiesero quale processo finalizzato sarebbe riuscito a produrre un progetto così ben ordinato in natura⁶⁸.

Mayr collega la visione di una finalità universale, una caratteristica trasversale alla realtà, alla constatazione che gli organismi esibiscono percorsi di sviluppo regolari e ben orchestrati e, per giunta, compatibili con la più estesa rete di interazioni ecologiche in cui sono inseriti. Questo dato è insomma al tempo stesso l'*explanandum* e il modello che ne offrirebbe la spiegazione adeguata, rinvenendola nell'ipotesi di un'incognita, «la *x*, questo agente apparentemente intenzionale», «forza vitale» che vuoi in una forma vuoi in un'altra compare nelle «numeroso filosofie dualistiche, finalistiche e vitalistiche del passato» (centrate per esempio sull'«entelechia» o sull'«*élan vital*»⁶⁹) e in ultimo approda a

⁶⁸ MAYR, Cause and Effect cit., p. 1504.

⁶⁹ Questi riferimenti restano generali e a tratti in effetti indistinti, ma la loro sorgente è chiara: per quanto riguarda l'entelechia, si richiama il neovitalismo di Hans Driesch (1867-1941), embriologo e biologo teorico allievo di Ernst Haeckel, Wilhelm His e Wilhelm Roux, mentre l'*élan vital* è concetto caro al pensiero di Henri Bergson. Senza scendere alle sue radici medioevali e prima galeno-aristoteliche, risale a Paul-Joseph Barthez (1734-1806), noto medico francese dell'università di Montpellier, l'ipotesi di un «principio vitale» di incerta natura, che renda ragione della proprietà della vita nei corpi materiali viventi per il resto descritti dalle leggi meccaniche fisiche. Da qui si dipanarono varie correnti interne alle ricerche biologiche, che nel corso dell'Ottocento si scontrarono con un generale atteggiamento riduttivo-materialistico infine prevalente nelle scienze naturali. Nella sua opera, che per l'insufficienza di alcune teorie embriologiche meccanicistiche propone un nuovo vitalismo, Driesch recupera l'entelechia aristotelica per denotare quel principio immanente immateriale che guida in maniera armoniosa lo sviluppo organico dell'uovo verso la maturità, nonostante sperimentalmente i suoi componenti possano essere separati o manipolati. In relazione invece a Bergson, lo slancio vitale è rappresentato da quella forza originaria, evolutiva e creatrice che, prorompendo dalla natura stessa del reale, ne pervade gli sviluppi in modi sempre nuovi e si manifesta evidentemente nei viventi. Nell'*Evoluzione creatrice* – il riferimento è BERGSON HENRI, *L'évolution créatrice*, Paris 1907 (trad. it. di Polidori Fabio, *L'evoluzione creatrice*, Milano 2002) – tanto le scienze naturali meccanicistiche quanto in parte ancora le correnti scientifiche *lato sensu* finalistiche sono sottoposte a una

«conclusioni sovranaturalistiche». La lente con la quale si esamina il teleologico è ancora in parte quella della biologia articolata sui due campi del funzionale, coinvolgendo cause prossime, e dell'evoluzionistico, coinvolte invece cause ultime: la finalizzazione scorta in organismi o strutture organiche individuali contemporanei, esplorata dal primo genere di scienziato, è quella che scandisce i ritmi e gli eventi dello sviluppo – in una prospettiva prossima all'osservatore –, mentre la finalizzazione che apparirebbe dalle meccaniche evolutive del lungo periodo, l'adattamento organico e il carattere sistemico di reti e fenomeni ecologici, alimenta una teleologia ultima della natura e dell'universo. Si può parlare allora, in effetti, di «due teleologie di Aristotele» ovvero, parallelamente, di «due ordini di fenomeni interamente differenti» entrambi denotati teleologicamente dai diversi autori. Pertanto,

per evitare confusione fra i due tipi integralmente differenti di direzione finale, Pittendrigh ha introdotto il termine «teleonomico» come voce descrittiva per tutti i sistemi diretti a un fine «non impegnati verso la teleologia aristotelica». Non solo questa definizione negativa colloca l'intero onere sulla parola «sistema», ma non fa nessuna chiara distinzione fra le due teleologie di Aristotele. Sembrerebbe proficuo restringere in modo rigido il termine «teleonomico» a sistemi operanti sulla base di un programma, un codice di informazione⁷⁰.

La teleologia per così dire ontogenetica coglie dati sperimentali sostanzialmente indiscussi (gli organismi e la loro struttura sono finemente regolari e lo sviluppo organico riesce ben canalizzato, entro un certo spettro di perturbazioni) e si può recuperare, affilando il lessico e la teoresi epistemologica, sotto la veste scientifica della teleonomia. Più problematico è invece sostenere che la natura o l'evoluzione o ancora i fattori evolutivi in gioco – le specie, le radiazioni adattative, gli ordini tassonomici superiori... – si sviluppano come un organismo e, cioè, siano guidati nel loro strutturarsi e nelle loro diverse manifestazioni dalla decodifica di un programma analogo a quello, adesso si arriva a dire, genetico. Che per esempio, difatti, una specie sia ben adattata alle nicchie ecologiche in cui normalmente la si trova non è «dovuto a qualche intenzione dei suoi antenati o di una agenzia esterna, come la 'Natura' o 'Dio', che hanno creato un progetto o disegno superiore». La scienza «non ha rinvenuto alcuna prova che sosterebbe la teleologia nel senso

attenta critica, che dischiude quindi una teoria dell'evoluzione imperniata su questo concetto. L'equiparazione che Mayr avanza fra simili elaborazioni teoriche è probabilmente affrettata quantomeno dal punto di vista storico, eppure è coerente: da una parte, nella sua prospettiva la scienza non può non avere carattere materiale e antidealistico e, dall'altra, anche in ragione di ciò le speculazioni più diverse si agglomerano confusamente nella misura in cui impediscono una biologia evoluzionistica depurata di riferimenti non scientifici.

⁷⁰ MAYR, Cause and Effect cit., p. 1504.

di varie teorie vitalistiche o finalistiche»: dove anzi si scorge «la produzione e il perfezionarsi durante tutta la storia dei regni animale e vegetale di programmi sempre nuovi e di codici di informazione a DNA sempre migliori», ciò non soltanto è in un senso pieno «adattamento evolutivo controllato dalla selezione naturale», ma rappresenta tra l'altro il percorso attraverso cui comportamenti o sistemi orientati a uno scopo e processi dello sviluppo emergono biologicamente come esito della sua decifrazione.

Se, in altri termini, di oggetti o dimensione teleologica si può parlare, per Mayr questi sono ancorati a quel genere di direzionalità che è paradigmaticamente esibita nello sviluppo di un individuo vivente: così però, appare più conveniente condurre simili fenomeni sotto l'ambito della teleonomia, perché la loro realtà osservativa e quindi scientifica li rende diversi dai ragionamenti teleologici variamente religiosi, vitalistici od ortogenetici che concepiscono un ordinamento globalmente finale nella natura. In aggiunta, la teleonomia sembra esser contraddistinta dall'esistenza di veri e propri «programmi» (*programs*), in relazione a codici di informazione genetici, che materialmente originano, sostengono e rimodulano le strutture o le attività di un sistema prefigurandone internamente il punto di arrivo e, con ciò, rendendo possibile lo svolgimento di un processo vuoi intenzionale vuoi orientato appunto a questo scopo.

Dove, allora, è legittimo parlare di fine e finalità in natura e dove no? A questa domanda adesso possiamo dare una risposta ferma e non ambigua. Un individuo che – per usare il linguaggio del calcolatore – sia stato ‘programmato’ è capace di agire intenzionalmente... Un uccello che comincia la sua migrazione, un insetto che sceglie la sua pianta ospite, un animale che evita un predatore, un maschio che si esibisce davanti a una femmina — tutti agiscono intenzionalmente perché sono stati programmati per farlo...

Il codice a DNA di ciascuno zigote (cellula uovo fecondata), completamente individuale eppure anche specie-specifico, che controlla lo sviluppo dei sistemi nervosi centrale e periferico, degli organi di senso, degli ormoni, di fisiologia e morfologia, è il «programma» per il calcolatore comportamentale di questo individuo⁷¹.

A ben vedere, in effetti, oltre ai percorsi che scandiscono le differenti fasi di vita di un vivente sino alla sua maturità, il fine che appare problematico – appunto «la *x*, questo agente apparentemente intenzionale», la «forza vitale» di teorie non scientifiche – comprende quelle espressioni del teleologico eminentemente comportamentali, agenziali o intenzionali. Come prima l'esempio che ha permesso di rifrangere la nozione di causalità biologica, cioè le migrazioni stagionali, ora i casi portati di fenomeno teleonomico sono

⁷¹ MAYR, *Cause and Effect* cit., pp. 1503-1504.

i movimenti e i rituali più o meno complessi attraverso cui gli organismi interagiscono e percorrono l'ambiente sfruttandone le risorse e imparandone la disponibilità di mezzi e i pericoli, per sopravvivere, alimentarsi o invece riprodursi. Sono comportamenti, significativamente animali se ci si attiene alla lettera degli esempi, nei quali gli individui agiscono, al contrario dei processi ed eventi dello sviluppo che sono viceversa trasformazioni che accadono all'organismo e alle sue strutture componenti. Il dominio di fenomeni è insomma quello etologico o addirittura psicologico, considerato alla stregua di un'estensione organica immateriale del patrimonio ereditario (per così dire un genotipo comportamentale) parimenti sottoposto alle leggi e le teorie della genetica quanto caratteri fenotipici materiali come l'anatomia e la biochimica. Il calcolatore viene introdotto come un punto di riferimento metaforico che riesce a spiegare la natura apparentemente non meccanica – e dunque scientificamente insicura – dell'agire intenzionale e secondo certi scopi, pure al tempo stesso pienamente rilevante sotto l'aspetto biologico: se infatti in questo modo un individuo è in grado di muoversi nei mutevoli contesti ambientali e trarne profitto, non è un dato trascurabile e anzi deve venire spiegato e spiegato in maniera scientificamente scrupolosa. Tuttavia, si tratta di un parallelo che non rimane meramente ausiliario alla comprensione: poiché macchine elaboratrici di questo tipo e le loro schede di programmazione sortiscono quei comportamenti e quell'organizzazione secondo certi scopi che sono fino in fondo quelli osservati dagli etologi, il comportamento animale passa agevole per meccanico, articolato secondo le istruzioni e gli schemi via via eseguiti in modo coordinato a partire dal codice genetico. Dunque,

l'azione intenzionale di un individuo, fintantoché è poggiata sulle proprietà del suo codice genetico, non è pertanto né più né meno intenzionale delle azioni di un calcolatore che è stato programmato a rispondere in maniera adeguata a vari segnali in ingresso. Se così posso esprimermi, è una finalità puramente meccanicistica⁷².

Una simile direzionalità è risultato della «decodifica dell'informazione programmata contenuta nel codice a DNA dello zigote fecondato», che si può presentare in una versione «aperta» e tuttavia comunque soggetta ai limiti prestabiliti dal tipo di programma.

Non dobbiamo però avere una concezione erronea di questi codici. È caratteristico dei codici genetici che la programmazione sia solamente in parte rigida. Fenomeni come apprendimento, memoria, modificazione strutturale non genetica e rigenerazione mostrano quanto aperti siano questi programmi. Eppure, anche qui si dà grande specificità, per esempio rispetto a che cosa possa essere 'appreso', a che stadio del ciclo vitale abbia luogo

⁷² MAYR, Cause and Effect cit., p. 1504.

l'‘apprendimento’ e quanto a lungo sia conservato un engramma mnemonico. Il programma, allora, può essere in parte abbastanza non specifico e però il raggio di variazione possibile è esso stesso incluso nelle specifiche del codice. I codici, pertanto, sono sotto alcuni aspetti altamente specifici, sotto altri aspetti specificano meramente ‘norme di reazione’ o capacità e potenzialità generali⁷³.

Per chiarire la distinzione Mayr indica i comportamenti di riconoscimento intraspecifico in diversi uccelli. Alcuni, come i vaccari nordamericani e i cuculi, pur nascendo e crescendo da parassiti nelle covate di altre specie una volta svezzati ricercano altri esemplari della propria, in particolare per la riproduzione. Altri viceversa, come le oche, appena dopo la schiusa sono portati a riconoscere come proprio simile e genitore il primo oggetto con cui entrino in contatto. Insomma «ciò che è programmato è, in un caso, una definita *Gestalt*» – cosicché l'informazione di cui l'individuo è depositario si rivela estremamente dettagliata e innata –, «in un altro soltanto la capacità di risultare impresso di una *Gestalt*», informazione «aperta» all'esperienza ma più o meno delimitata nella sua attuazione e configurazione. Al contrario di individui e organismi, «i processi storici... *non* sono in grado di agire intenzionalmente»: non si può dire, infatti, di un evento di speciazione o di deriva genetica che si comporti come si comporta un feto differenziandosi strutturalmente nel suo sviluppo oppure come una preda attenta dal punto di vista sensomotorio alla presenza di eventuali minacce. Se il comportamento di questi è intenzionale, quindi diretto a certi scopi perché sovrinteso da un programma e incorporato nell'esistenza del genoma organico, i processi evolutivi e l'evoluzione nel suo insieme non possiedono nessuna di tali caratteristiche: in altre parole l'evoluzione per selezione naturale non è teleologica, dal momento che questo ordine di rappresentazioni è stato dimostrato non scientifico e non darwiniano, ma non è nemmeno teleonomica. Ciò nonostante, la teleonomia biologica, ossia il comportamento direzionale quindi i programmi genetici e la loro decodifica (la «biologia funzionale»), è connessa alle meccaniche sovraindividuali, ecologiche e geologiche che in effetti ne sono la causa: la «biologia evoluzionistica», dall'altro lato, è appunto interessata alla storia di simili codici e alle «leggi che controllano i cambiamenti di questi codici di generazione in generazione».

La selezione naturale fa del suo meglio per favorire la produzione di codici assicuranti un comportamento che incrementa l'adattabilità. Un programma comportamentale che garantisca una reazione corretta istantanea a una potenziale fonte di cibo, a un potenziale nemico o a un potenziale compagno fornirà certamente maggiore adattabilità nel senso darwiniano che un programma che manca di queste proprietà. Ancora, un programma comportamentale che

⁷³ MAYR, Cause and Effect cit., p. 1502.

consenta un apprendimento adeguato e il miglioramento delle reazioni comportamentali tramite vari tipi di circuiti retroattivi dà maggior probabilità di sopravvivenza che un programma che manca di queste proprietà⁷⁴.

Riassumendo, quando in prima battuta affronta la questione della teleologia, Mayr coglie l'occasione per riconoscere anzitutto la natura eminentemente biologica dei dati e i fenomeni empirici su cui è radicata (nel più largo obiettivo di dare spazio alle peculiarità epistemologiche della biologia e quindi riscrivere concettualmente la teoria della causalità, contro il fisicalismo) e poi la necessità di rielaborare quelle idee alla luce della teleonomia. Sebbene perciò si riallacci al discorso di Pittendrigh, ne prende cautamente le distanze e suggerisce di appropriarsi del nuovo vocabolo in una veste leggermente distinta e in ogni modo più particolareggiata. Il riferimento negativo ad Aristotele è insufficiente e poco preciso, giacché sembra che il fine aristotelico copra trasversalmente diversi ambiti del reale alcuni dei quali adesso scientificamente descrivibili come teleonomici. D'altro canto, oltre a ciò, l'armatura interna della teleonomia – l'*explanans* che permette di comprenderne il contenuto e ne giustifica lo statuto scientifico antiteleologico – è isolata nel portato informativo del genotipo e nel suo ruolo di programma o casellario di programmi coordinati. Una macchina calcolatrice programmabile, suscettibile di risposte anche complesse e aperte al riscontro fornito dall'esperienza e l'ambiente, diviene il modello teorico a cui ricondurre il vivente, più facilmente comprensibile a fronte dello sviluppo nelle ricerche di informatica, automazione e ingegneria dei calcolatori. Se quanto di solido si cela nella controversa nozione del teleologico è infatti spiegato dalla natura cibernetica del gene, che avvia processi direzionali e retroattivamente regolati, il resto invece appartiene come in Pittendrigh a una *Weltanschauung* rigettata o quantomeno non corroborata sperimentalmente. Niente di quello che contraddistingue la teleonomia organica e genetica esiste a livello di eventi o percorsi evolutivi in se stessi, che dunque si pongono del tutto al di fuori dell'ordine ontologico del fine. L'evoluzione presenta leggi o schemi regolari e questi sono le cause dell'insorgere di genomi più o meno ben adattati e del loro modificarsi, deteriorandosi o consolidandosi, ma la selezione naturale non è né teleologica – come per così dire una preveggenza divina – né teleonomica, perché non possiede un programma genetico organico non essendo un organismo. Pur non operando sulle variazioni degli individui presenti in ragione di eventuali scopi adattativi da

⁷⁴ MAYR, Cause and Effect cit., p. 1504.

raggiungere, come teleologicamente sarebbe, nondimeno il meccanismo principale della teoria dell'evoluzione vaglia in modo sottile lo spettro delle varianti così che soltanto gli organismi e i genomi teleonomicamente meglio articolati sopravvivano.

2.3 Una teleonomia *stricto sensu* fra processi, programmi e strutture

Dopo essersi addentrato in un primo momento nella questione aperta della finalità biologica, Mayr ne segue gli sviluppi e cerca di ricondurli entro una cornice teoretica coerente con le suggestioni che hanno guidato inizialmente il suo approccio. Per un verso, è abbondante l'uso di vocaboli e formule teleologicamente connotati nella pratica osservativa e interpretativa delle scienze della vita, ma soprattutto, per un altro, il ricorso a un simile dominio di nozioni appare necessario alla piena e corretta comprensione dei viventi e dei fenomeni in cui sono coinvolti. Emendare il linguaggio tecnico biologico da fini, funzioni, vantaggi ed espressioni che li incamerano rischia invero di far perdere la presa su dati empirici rilevanti per la disciplina, lasciando all'ombra fatti e spiegazioni di essi che forse sono peraltro la cifra della biologia rispetto alle altre scienze. In questo senso i problemi sollevati dai dibattiti in corso si allargano dall'ambito linguistico – lessicale, semantico, logico e comunicativo⁷⁵ – sino a quello della realtà e qualità di strutture, comportamenti o eventi descrivibili in modo rilevante come teleologici. È appunto tale il passaggio che l'autore compie a distanza di alcuni anni in un altro articolo, *Teleological and*

⁷⁵ In MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit. la potenzialità esplicativa, l'inaggirabilità e insieme il tratto problematico del «linguaggio teleologico» sono uno dei pilastri della discussione e ne appaiono anzi il punto di avvio, quasi fosse il materiale empirico osservativo per questo argomento di filosofia della scienza. «Tale linguaggio è contraddistinto dall'uso delle parole “funzione”, “fine” e “scopo”, oltre che da enunciati che qualcosa esiste oppure è effettuato “allo scopo di”. Enunciati tipici di questa sorta sono “Una delle funzioni dei reni è eliminare i prodotti finali del metabolismo proteico” o “Gli uccelli migrano verso climi miti allo scopo di evitare le basse temperature e la scarsità di cibo dell'inverno”» (Ivi, p. 91). Significativamente, riproponendo gli interrogativi basilari che regolano la ricerca nelle scienze, oltre a un «Che cosa?» preliminare e al «Come?» della fisica e chimica, ricompare il «Perché?» della biologia evoluzionistica, il quale tuttavia subisce una torsione funzionale esplicita: «è la teoria evoluzionistica di Darwin a richiedere questa domanda: nessun carattere (o programma comportamentale) di un organismo ordinariamente evolve se non viene favorito dalla selezione naturale. Deve giocare un ruolo nella sopravvivenza e nel successo riproduttivo del suo portatore. Accettando questa premessa, è necessario per il completamento dell'analisi causale chiedersi, per ciascun carattere, perché esista ovvero quale sia la sua funzione e il ruolo nell'esistenza del particolare organismo» (Ivi, p. 108). Così, «frasi ripulite» di un presunto e sospetto sapore teleologico non soltanto sono semanticamente meno ricche di quelle di partenza, ma mancano *in toto* di rispondere all'interrogativo che anima la teoria dell'evoluzione e, per la precisione, di rispondervi nella maniera che ne ha sancito il suo pregio scientifico. Insomma, «enunciati teleonomici sono stati spesso oggetto di diffamazione in quanto disorientanti e oscurantisti. Ciò è semplicemente non vero. In realtà la traduzione non teleologica è, senza eccezione, una banalità insignificante, mentre è l'enunciato teleonomico che conduce a ricerche biologicamente interessanti» (Ivi, p. 110).

*Teleonomic, a New Analysis*⁷⁶, nel 1974. Si danno obiezioni di varia natura all'impiego del vocabolario teleologico, dal richiamo a dottrine teologiche o genericamente metafisiche contrarie alla scienza sino a un attacco del valore universale della fisica, della causalità e dell'oggettività. Tuttavia, quando pure «l'uso del cosiddetto linguaggio teleologico da parte dei biologi è lecito, non implica il rigetto della spiegazione fisico-chimica né implica una spiegazione non causale», è necessario proporre «una nuova classificazione dei diversi fenomeni che sono stati tradizionalmente designati come “teleologici”», per evitare le critiche di caduta nel sovrannaturale, di inversione del nesso causale o di antropomorfismo, quest'ultima in particolare legata alla controversia circa l'intenzionalità⁷⁷. Difatti,

uno dei più grandi punti deboli delle recentissime discussioni sul problema della teleologia è stata l'eterogeneità dei fenomeni indicati come «teleologici» da differenti autori. A me sembrerebbe alquanto futile raggiungere definizioni rigorose finché il miscuglio di fenomeni... non sia separato in classi più o meno omogenee...

Inoltre, non fa che confondere l'argomento quando una discussione sulla teleologia si mischia con quella di problemi così estranei quali quelli del vitalismo, olismo o riduzionismo⁷⁸.

Premesso che «asserzioni e fenomeni teleologici si possono analizzare senza riferirsi a grandi sistemi filosofici», la chiarezza concettuale esige perciò, ancora una volta, di estromettere da qualsiasi forma di finalità la prima classe di oggetti così individuata, cioè le «sequenze evolutive unidirezionali» per come sono presentate nell'ortogenesi e in generale in ogni evolucionismo che interpreti il succedersi e modificarsi delle generazioni biologiche nel senso di un progresso. Un'ulteriore precisazione, ciò nonostante, sposta il discorso al di là del confronto con il passato della disciplina, pure rievocato dal momento che i naturalisti settecenteschi che resero dinamica e temporale la «grande catena dell'essere» aristotelica, Lamarck e la sua *marche de la nature*, la teologia ottocentesca e l'evoluzionismo antidarwiniano al volgere del secolo non sono riusciti a cogliere in misura

⁷⁶ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit.

⁷⁷ La riclassificazione degli oggetti reputati in un verso o in un altro teleologici è motivata dalle obiezioni che generalmente sono state avanzate contro le cause finali, specie dalla Rivoluzione Scientifica in poi. La sua ambizione tuttavia è giustificare l'uso di formule e nozioni teleologiche per descrivere il vivente, fintantoché ciò a cui questo apparato teorico si riferisce è del tutto coerente con i postulati e il metodo delle scienze naturali. Le quattro obiezioni concernono prima di tutto una «teleologia strettamente metafisica» ancilla della teologia naturale – sono richiamate «forze vitali non materiali», come sono anche l'*élan vital* e l'*Entelechie* –, quindi il conflitto con le leggi di fisica e chimica – per cui in natura non esistono enti simili a programmi e comportamenti orientati –, l'inversione delle relazioni di causa ed effetto, nel momento in cui «scopi futuri fossero la causa di eventi attuali», e infine la personificazione di enti e fenomeni non umani, che agirebbero come se forniti di mente, intenzioni e progetti.

⁷⁸ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 95.

piena l'evoluzione appunto perché compromessi con questo genere di interpretazioni. Biologi contemporanei, a ben guardare, sostengono di ravvisare nei processi evolutivi del lungo periodo o una dimensione detta espressamente teleologica, come Francisco Ayala⁷⁹, o una specie di «quasi-finalismo», che per Conrad Waddington⁸⁰ appartarrebbe al meccanismo di selezione naturale quanto agli eventi di sviluppo e maturazione individuale. «Se 'teleologico' vuol dire qualcosa, vuol dire 'diretto a uno scopo'», ma «la

⁷⁹ Ci si riferisce in particolare a AYALA FRANCISCO J., *Teleological Explanations in Evolutionary Biology, Philosophy of Science* 37.1 1970, pp. 1-15. Francisco J. Ayala (1934-2023), genetista ed evoluzionista spagnolo naturalizzato statunitense, è noto per i suoi lavori riguardanti la genetica di popolazioni e, al di fuori della specializzazione disciplinare, per la sua attività pubblica di divulgazione e difesa della teoria dell'evoluzione, contro le tesi pseudoscientifiche creazioniste che ruotano attorno al cosiddetto «disegno intelligente». Discutendo di teleologia in questo come in altri scritti, l'autore avversa qualsiasi rappresentazione provvidenziale o comunque divinamente ordinata del vivente e della sua storia naturale – in accordo perciò con Pittendrigh e Mayr –, ma non la considera in grado di intaccare la gravidanza e, per il resto, l'indispensabilità di una categoria come il teleologico. «Dovesse alla fine la parola "teleologia" venire scartata dal vocabolario scientifico o essere ristretta nel suo significato a processi direzionali preordinati, saluterei un simile evento», ma in ogni caso «la sostituzione di un termine con un altro non chiarisce necessariamente i problemi in gioco. Sarebbe ancora necessario esplicitare qualunque vocabolo si usi al posto di "teleologia", sia "teleonomia" o qualcos'altro» (Ivi, p. 14). In breve, nella biologia la finalità – e dunque le spiegazioni per mezzo di fini – compare in tre gruppi di fenomeni non nettamente distinti: azioni intenzionali consapevoli, sistemi a regolazione autonoma come l'omeostasi o i servomeccanismi e quindi strutture adattative o funzionali, a seconda della relazione che intercorre fra l'oggetto e lo stato di cose finale o, almeno, la proprietà che ne rende ragione. Se ognuno di questi fenomeni si può definire in un modo o in un altro teleologico, il passaggio che lascia contrario Mayr riguarda l'estensione di questo attributo all'evoluzione globalmente intesa: l'evoluzione, e la selezione naturale più nel dettaglio, non sono affatto teleologiche nel senso di determinare la generazione di un certo dato organismo o un dato carattere, ma lo sono invece pienamente in un altro senso. Difatti, «in primo luogo, la selezione naturale è un processo direzionale meccanicistico che si risolve in una accresciuta efficienza riproduttiva. L'adattabilità riproduttiva si può allora dire essere il risultato finale o lo scopo della selezione naturale. In secondo luogo, la selezione naturale... produce e conserva organi e processi diretti a un fine quando la funzione o lo stato finale servito dall'organo o il processo contribuisce all'adattabilità riproduttiva degli organismi» (Ivi, p. 10 e, analogamente, p. 11).

⁸⁰ A tratteggiare brevemente la figura e il ruolo dello scienziato nella controversia, i cui lasciti sembrano perdurare nella biologia teorica contemporanea, si possono seguire WILKINS ADAM S., *Waddington's Unfinished Critique of Neo-Darwinian Genetics: Then and Now, Biological Theory* 3.3 2008, pp. 224-232 e LOISON LAURENT, *Canalization and Genetic Assimilation: Reassessing the Radicality of the Waddingtonian Concept of Inheritance of Acquired Characters, Seminars in Cell & Developmental Biology* 88 2019, pp. 4-13. Conrad H. Waddington (1905-1975), genetista inglese, mosse contro alcuni assunti importanti della teoria sintetica dell'evoluzione negli stessi anni in cui si andava consolidando, nel tentativo di collegare la genetica, la biochimica e l'embriologia. Dobzhansky e Mayr, infatti, leggevano l'assimilazione genetica in una versione 'edulcorata', compatibile con l'assoluta casualità mutazionale delle varianti. Sin dall'inizio, invece, il biologo l'aveva intesa alla stregua di un vero e proprio meccanismo evolutivo, dentro il quale i geni non agiscono singolarmente ma influenzandosi in una molteplicità di modi, sicché l'ontogenesi per un verso dipende dai fattori ambientali per esplicitarsi in un certo percorso di sviluppo – e dunque fenotipo – e per un altro è a prescindere strutturata secondo uno spettro fenotipico che incanala la variabilità genetica in direzione di forme adulte funzionali. Nonostante non siano espresse in un'articolazione concettuale sistematica, le convinzioni di Waddington ambivano, sparse in vari scritti e frammentarie, a ridisegnare nella globalità il processo dell'evoluzione. Mayr cita WADDINGTON CONRAD H., *Towards a Theoretical Biology*, Edinburgh 1968, miscellanea che raccoglie gli interventi di due convegni e dove, secondo Wilkins, si è colpiti da un «forte sentore di teleologia, nel senso che l'evoluzione viene implicitamente dipinta come se provasse a raggiungere certi esiti funzionali». Forse più significativa al riguardo è però la precedente *Strategy of the Genes* (ID., *The Strategy of the Genes*, London 1957).

selezione naturale è in senso stretto un processo *a posteriori* che ricompensa il successo attuale e invece non dispone mai scopi futuri»: il fine, in altre parole, – la meccanica in cui è inserito, che alimenta e che spiega – presuppone uno stato di cose a venire dove sia portato a realizzarsi, mentre l'evoluzione darwiniana agisce lavorando sulla generazione spontanea e casuale di varianti più o meno vantaggiose a seconda dell'ambiente selettivo che, in modo contingente, un individuo, una popolazione o una specie incontrano dal punto di vista ecologico. In aggiunta, uno scopo si presenta come uno scopo particolare, rivolto al conseguimento di certi stati terminali che rendono ragione del movimento di partenza, e svuotarlo di un simile dato contenuto risulterebbe controproducente. «È fuorviante e del tutto inammissibile», in effetti, «denotare concetti così largamente generalizzati come sopravvivenza o successo riproduttivo in quanto scopi definiti e specifici», perché sovraestendere la nozione di direzionalità porta a conclusioni «ridicole». Quando un evento o un processo raggiunge infine un determinato stadio di avanzamento, non per ciò se ne deve dedurre il carattere teleologico: per il secondo principio della termodinamica, per esempio, nei sistemi isolati reali quali l'universo stesso può essere considerato si assiste in via irreversibile all'aumento dell'entropia, ovvero lo stato di disordine fisico del sistema stesso, ma questo non può apparire come 'scopo' dell'evoluzione termica cosmologica. Analogamente, rimanendo su paragoni biologici, ogni organismo vivente muore e forse la maggioranza delle specie nel corso della loro storia naturale si estingue e, di nuovo, sarebbe insensato leggere la morte individuale e l'estinzione nei termini di una qualche finalità che attrae il manifestarsi della vita. Malgrado già al livello teorico definire la questione della teleologia comporti un certo impegno, la confusione che la attraversa è comunque in prima battuta derivata appunto da questa generalizzazione impropria, che risiede in uno dei nodi peggio aggrovigliati dell'evoluzionismo, le «analogie fra ontogenesi ed evoluzione». Non per caso il fraintendimento riguarda Waddington, «come fin troppi altri biologi dello sviluppo», e però «uno dei contributi più importanti di Darwin è stato chiarire che i processi teleonomici che interessano solo un singolo individuo sono di una natura integralmente differente dai mutamenti evoluzionistici»: la selezione naturale è «del tutto e decisamente non diretta a un fine distante e specifico», quindi fenomeni appartenenti alla dimensione strettamente evoluzionistica vanno eliminati dal dibattito.

Le altre due classi che Mayr isola, all'interno della sua rassegna fenomenologica preliminare, sono da una parte i «processi apparentemente o genuinamente diretti a uno

scopo» e dall'altra i «sistemi teleologici». Mentre ribadire che gli eventi evolutivi e la selezione non siano teleologicamente orientati è in linea con le opinioni espresse in precedenza, le categorie che vengono ora presentate e successivamente affinate sono frutto di una nuova e più dettagliata considerazione del problema, volta attorno al criterio di dinamicità. Nel primo caso si distinguono processi, comportamenti o eventi che esibiscono un movimento, temporalmente distribuito, che giunga a uno stato di cose finale. Certamente «la natura (organica e inanimata) abbonda di processi e attività che conducono a un fine», ma sarebbe erroneo «credere che tali processi terminativi siano tutti di un unico tipo e 'finalistici' nella stessa maniera e allo stesso grado». La demarcazione di inanimato e animato copre il solco che allontana i processi teleomatici da quelli già descritti come teleonomici, «due generi di fenomeni interamente diversi»: fisico e chimico in senso ristretto, il comportamento teleomatico di un oggetto è semplice, passiva e meccanica conseguenza delle leggi naturali e in essa sta inscritto anche lo «stato finale», *end state*, a cui in ultimo si approda, mentre viceversa i movimenti teleonomici sono specificamente biologici e sono guidati da un programma e da «qualche punto di arrivo, fine o estremità che è anticipato nel programma che regola il comportamento» (si parla più precisamente di *end point*, *goal* o *terminus*). Anche se evidentemente i corpi materiali, non vivi o non considerati in quanto vivi, sono soggetti a forme di moto e trasformazione molteplici, «sono 'diretti a un fine' solo in via passiva e automatica, regolata da forze o condizioni esterne». Il modo in cui dinamicamente questi si avvicinano e poi raggiungono uno stato che del processo così arrestatosi è l'esito conclusivo consiste o nell'esaurimento di un potenziale d'azione oppure nel blocco cui li costringono forze fisiche antagoniste. Una pietra che cade, a esempio, arriva al suo stato finale quando incontra il suolo o un altro ostacolo che ne impedisca ulteriormente il moto e, in entrambe le situazioni, il carattere teleomatico del suo comportamento è governato dall'esterno dalla legge di gravitazione e dai principi della dinamica. In maniera simile un pezzo di ferro incandescente in un ambiente a temperature inferiori si raffredda progressivamente sino a che non sia stato raggiunto l'equilibrio termico del sistema nella sua globalità, nel rispetto delle leggi della termodinamica. Si parla, insomma, di processi che solo in apparenza mostrano un orientamento a uno scopo e che in realtà esprimono l'azione non tanto dei corpi interessati quanto piuttosto delle leggi naturali di cui il presunto scopo è un «risultato consequenziale a concomitanti forze fisiche», «raggiunto automaticamente». *E converso*, gli organismi e

i movimenti a cui strutture ed eventi organici danno inizio, per quel che concerne il fuoco delle ricerche biologiche, sono intrinsecamente diversi e non rispondono a questo tipo di passività: la nozione di teleonomia deve essere a questo punto ripresa e approfondita, per andare incontro a un rivolgimento semantico più particolareggiato.

Negli ultimi quindici anni circa il termine «teleonomico» è stato usato sempre più spesso per processi diretti a uno scopo negli organismi. Ho proposto nel 1961 la seguente definizione per la parola: «Sembrirebbe proficuo restringere in modo rigido il termine “teleonomico” a sistemi operanti sulla base di un programma, un codice di informazione»... Pur avendo impiegato la parola «sistema» in questa definizione, da allora mi sono convinto che considerare alcune attività, processi (come la crescita) e comportamenti attivi quali illustrazioni più caratteristiche di fenomeni teleonomici ne permette una migliore definizione operativa. Modifico pertanto la mia definizione come segue: *È un processo o comportamento teleonomico quello che deve la sua direzionalità verso uno scopo all'operazione di un programma.* Il termine «teleonomico» implica direzione verso uno scopo. Ciò, a sua volta, implica un processo dinamico piuttosto che una condizione statica, rappresentata invece da un sistema. Combinare «teleonomico» con la parola «sistema» è, quindi, abbastanza incongruente⁸¹.

Correggendo la formulazione originaria, se si parte dall'analisi semantica di «teleologico, vale a dire *diretto a un fine*» e poi se ne scioglie e rielabora il significato nella «direzionalità verso uno scopo» (*goal-directedness*), è la natura processuale e del movimento ad apparire predominante. «Questo è il cuore del concetto di teleologico, la presenza di un *telos* (un fine) verso cui un oggetto o un processo si muove»: la teleonomia, in maniera sottile, sembra di conseguenza recuperare il più coerentemente possibile il portato informativo, solido sotto l'aspetto teorico e sperimentale, che le speculazioni prescientifiche sulla finalità avevano oscuramente intuito. Se ne conserva in ogni modo un'interpretazione ambigua, che adesso la differenzia in modo netto dall'adattamento, quell'altro fenomeno che con una qualche dimensione teleologica è collegato. Ragionando ancora sul criterio di dinamicità, una seconda porzione importante della teleologia non si dà nelle forme di processi – vuoi teleomatici vuoi, in biologia, teleonomici –, bensì in quelle di «sistemi», ovvero qualcosa come corpi composti materiali contrassegnati da staticità⁸².

⁸¹ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., pp. 98-99.

⁸² Quella di «sistema» è una nozione che compare appunto nel primo articolo che tratta della finalità, *Cause and Effect in Biology*: sospettata di essere vaga, pur in relazione all'onere teoretico che la definizione di Pittendrigh le carica addosso – il teleonomico come ciò che descrive «sistemi diretti a un fine», «non impegnati verso la teleologia aristotelica» –, nondimeno Mayr la riprendeva parlando di «sistemi operanti sulla base di un programma, un codice di informazione». Poiché non viene precisamente circoscritta nemmeno in questo secondo articolo, l'insistenza sul carattere «statico» o «stazionario» di questi oggetti appare a ben guardare come un tentativo di tracciare i limiti di una parola che compone forse il glossario essenziale della teorizzazione scientifica e che a questo deve la sua generalità di significato. Gli aspetti su cui qui ci si concentra, provando a sciogliere la sua complessità semantica, nell'uso che ne fa l'autore, sono quelli appunto generali della realtà materiale di simili strutture e di una qualche loro specifica organizzazione, dove il sistema è fornito di più componenti sottordinate che interagiscono tra di loro – e nella globalità del sistema

Rientrano così nel numero dei fatti biologici tanto un comportamento espressione della teleonomia quanto un sistema, o «sistema stazionario», come può esserlo un organo e in generale un tratto organico adattativo. Malgrado sia spesso coinvolto nel dispiegarsi di un processo teleonomico, almeno potenzialmente, non è in sé questo stesso processo, del quale costituisce invece le «strutture esecutive» ausiliari, «specificamente selezionate». Rappresentativi del teleonomico sono «la maggior parte dell'attività connessa con la migrazione, la ricerca di cibo, il corteggiamento, l'ontogenesi e tutte le fasi della riproduzione». Riprendendo uno degli esempi presentati in origine, dal punto di vista etologico la fuga di un animale da un suo predatore è un comportamento orientato al conseguimento di certi esiti ed è scandito da un programma: la sua processualità teleonomica viene messa in atto, sostenuta e agevolata dall'esistenza di organi sensoriali ricettivi e dalle prestazioni efficienti dell'apparato locomotorio, che sono le strutture adattative di cui la preda è stata fornita nel corso della storia evolutiva della specie. In breve, «adattativo vuol dire semplicemente: che è il risultato della selezione naturale», ossia che *a posteriori* si è scoperto vantaggioso e dunque oggetto di una meccanica selettiva positiva. Pur continuando a rivestire un ruolo importante nella genesi del suo programma, al contrario la selezione è relegata in una cornice in qualche misura di sfondo rispetto all'azione dei processi teleonomici. Anche se si sono originati a seguito di certi contesti selettivi interni a una prospettiva evuzionistica, la loro storia naturale è «completamente irrilevante per l'analisi funzionale di un dato processo teleonomico». È difatti «del tutto sufficiente... che esiste un programma che sia causalmente responsabile per la natura teleonomica di un processo orientato a uno scopo»⁸³.

stesso – in modo organico. Sebbene non ci siano riferimenti espliciti e consapevoli, è comunque possibile che un certo influsso lo eserciti la teoria generale dei sistemi, così come si andò costituendo verso la metà del Novecento per mano, a esempio, del biologo austriaco, naturalizzato canadese, Ludwig von Bertalanffy (1901-1972). La sua *General System Theory* del 1968 riorganizza in una forma compiuta scritti e riflessioni sull'argomento che l'autore ha elaborato a partire dagli anni 1920 e '30 e che sono stati approfonditi per esteso negli anni successivi, coinvolgendo autori e campi di ricerca differenti. Egualmente fondamentali in questa sensibilità teorica interdisciplinare sono le ricerche in automazione, la cibernetica, la formalizzazione matematica dei sistemi dinamici e, non poco, la biologia. Per Bertalanffy in particolare, infatti, la categoria dei «sistemi aperti» è una chiave di comprensione del vivente e dei suoi fenomeni caratteristici, che esibiscono in modo paradigmatico una struttura sistemica. Trattata dal punto di vista matematico e scientifico, la «biologia dei sistemi aperti» non solo consentirebbe di riempire il divario che la separa dalla fisica, ma si presenta come una disciplina di gran lunga più complessa, che promette di coprire anche il dominio delle scienze comportamentali, psicologiche e sociali. Opera di riferimento è quindi BERTALANFFY LUDWIG VON, *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, New York 1968 (trad. it. di Bellone Enrico, *Teoria generale dei sistemi. Fondamenti, sviluppo, applicazioni*, Milano 1983).

⁸³ In risposta a Hull (si confronti HULL, *Philosophy of Biological Science*, Englewood Cliffs (NJ) 1974), Mayr contesta in questi termini che la sua sia una «definizione storica» del teleonomico, vale a dire che il

Mayr riserva ampia attenzione, a questo punto, alla struttura e alla nitidezza concettuale del teleonomico, lungo cui si accumulano linee di tensione divergenti. Prima appunto deve venire confutata una qualunque finalità ascrivibile all'evoluzione nella sua globalità e ai suoi meccanismi: poi tuttavia, contemplando il ricco repertorio di oggetti individuali che ne avanza, si presentano su un lato processi – direzionali e digradanti verso uno stato terminale rilevante – che evidentemente non sono finali in senso proprio né biologici, sull'altro lato sistemi statici – non in moto o in azione e, pertanto, sprovvisti di una direzionalità di movimento – che viceversa sono eminentemente biologici e sono coinvolti in processi importanti cui contribuiscono mediante le loro funzioni. La teleonomia abbraccia soltanto in parte le qualità *sui generis* del vivente e al tempo stesso forse le condensa nel modo migliore giacché, sino a dove oggetti genericamente teleologici si riferiscono a una realtà e anzi a una specificità delle scienze della vita, il comportamento teleonomico guidato da un programma ne diventa per così dire unico erede legittimo⁸⁴. È

nervo del fenomeno risieda nell'azione, storicamente svoltasi, della selezione naturale che ha raffinato i programmi genetici responsabili della direzionalità di certi processi. Pur essendo spesso corretto, in primo luogo comparsa e consolidamento di simili programmi possono esser dovuti a cause non selettive, come una mutazione macroscopica o un episodio di apprendimento, ma appunto per ciò, di conseguenza, come i processi teleonomici si siano attuati è subalterno al fatto che ontologicamente sono comportamenti indirizzati verso uno scopo, regolati in forme più o meno sofisticate da un programma. Sensibilmente forse si dischiude uno spazio per la logica intrinseca della finalità o funzionalità biologica, che però, malgrado non la voglia assorbire nel meccanismo della selezione e in una preponderante cornice evoluzionistica, Mayr interpreta sotto una luce di definizioni concettuali. L'autonomia ontologica e teorica, che i processi teleonomici vantano a questo punto, parrebbe in ogni caso offrire una descrizione del vivente radicata nell'organizzazione dell'organismo individuale e presente, di fatto indipendente dall'evoluzione, e quindi porre in primo piano le cause prossime e funzionali contro quelle ultime.

⁸⁴ I rapporti fra la teleonomia *stricto sensu* secondo Mayr, da una parte, e la teleologia in un'accezione anche solo provvisoriamente generale, dall'altra, sono in effetti piuttosto complicati da ripercorrere e dipanare. Valgano alcune note – rimarcate con un certo disappunto – che l'autore avanza replicando a Krieger (KRIEGER GERALD J., *Transmogrifying Teleological Talk?*, *History and Philosophy of the Life Sciences* 20.1 1998, pp. 3-34), circa la tenuta e l'opportunità del suo trattamento del teleologico, in uno scambio di articoli verso la fine degli anni 1990. In MAYR, *The Multiple Meanings of 'Teleological'*, *History and Philosophy of the Life Sciences* 20.1 1998, pp. 35-40, qui p. 38, «risulta perfettamente legittimo usare un linguaggio teleologico nella descrizione di processi teleonomici e attività intenzionali. Non è corretto, tuttavia, quando Krieger sostiene che “Colin S. Pittendrigh, George G. Simpson, George C. Williams ed Ernst Mayr hanno optato per restringere l'impiego del linguaggio teleologico in biologia, rimpiazzandolo invece con il parlare di processi ‘teleonomici’”. In realtà tutti questi autori... hanno raccomandato di designare come teleonomiche ogni attività controllata da un programma». Cioè, precisamente, «il termine “teleonomico” non è un sostituto di “teleologico”. Si applica solamente a uno dei cinque diversi significati del termine “teleologico”» (Ivi, p. 37). Riguardo alla fondatezza storica della ricostruzione, effettivamente tutti i nomi portati da Krieger intendono la teleonomia come un «sostituto» della teleologia aristotelica, accreditato dalle teorie biologiche odierne, mentre solo Mayr recupera il concetto imperniandolo attorno a quello di programma e lo sottopone a controlli via via più severi. *Cause and Effect in Biology* sfruttava comunque la teleonomia appunto all'interno della generale questione concernente la trattabilità dei fini nelle scienze naturali: dove non sostituisce il teleologico, insomma, la nuova nozione almeno si presenta come un suo corrispettivo. *Teleological and Teleonomic*, anche se in misura ben più circostanziata, ancora parla di «linguaggio teleonomico», «approccio teleonomico» e «spiegazioni teleonomiche», con una certa libertà d'uso,

processuale ma anche direzionato in ragione di un fine e il genoma, componente materiale assente in altri ambiti della natura, ne permette lo svolgimento sfruttando le strutture organiche adattative – la cui generazione chiama in causa fenomeni indipendenti – quali mezzi di sostegno, controllo e perfezionamento dell'azione. Se si riprendono alla lettera gli esempi illustrati, i programmi teleonomici sarebbero in modo saliente o comportamentali – etologicamente parlando, quindi in primo luogo animali – oppure quelli che regolano fasi e avvenimenti dello sviluppo ontogenetico in generale. Rimane a ben vedere oscillante la caratterizzazione di questo tipo di processualità e sembra, almeno sotto un certo aspetto, al di fuori della consapevolezza dell'autore. Sotto la categoria dei «processi apparentemente o genuinamente diretti a uno scopo» il polo della falsa finalizzazione è quello dei comportamenti meccanici teleomatici, eppure nel polo complementare le sfumature teoretiche che descrivono la teleonomia la rendono qui una forma di finalità biologica autentica, per quanto corretta scientificamente, qui una direzionalità orientata a uno scopo (non esattamente una finalità) e qui ancora un ulteriore caso di apparente finalizzazione, comunque lasciando insicura o l'esistenza di una direzionalità genuina o il tratto identificativo di una simile «genuinità»⁸⁵. Il «grande debito di gratitudine»

come se la nuova ricalibrazione di quello che è finalità biologica prendesse di diritto il posto della teleologia non scientifica.

⁸⁵ È plausibile che, già a questa altezza, Mayr sarebbe cauto nell'uso di nozioni che si richiamino genericamente e trasversalmente alla finalità: la sua classificazione del teleologico, in fondo, intende in modo dichiarato smascherare la natura finale fasulla di certi oggetti o eventi che continuano a venire interpretati teleologicamente. I processi teleomatici sono emblema di una finalizzazione solo apparente, ma anche strutture che risultano senza dubbio funzionali o ben adattate a certi impieghi non sembra si possano dire teleologiche, nemmeno nel senso che esibiscono una qualche forma di finalità, comunque intesa. La teleonomia stessa, in quanto *goal-directedness*, è presentata come finalizzazione dinamica vincolata in modo rigido alla sussistenza e all'azione di un programma, cosicché gli aspetti salienti del teleologico vengono smorzati e ricondotti a un'ontologia meccanicistica. Proseguendo la riflessione, anni più tardi l'autore sostiene infatti determinato che «il riconoscimento che tre processi apparentemente teleologici – ovvero i processi teleomatici, i processi teleonomici e il conseguimento di adattamenti per selezione naturale – sono fenomeni strettamente materiali ha privato la teleologia del mistero e delle sfumature sovranaturali che prima aveva». La «rimozione» di questi processi, così letti, «non lascia nessun residuo» e «ha rivelato la non esistenza della teleologia cosmica». Pienamente inseriti in una interpretazione naturale dell'universo, ne è dunque calcata la materialità, la causalità meccanica e addirittura il fatto che «possono, in principio, essere ridotti a cause fisico-chimiche» (MAYR, *The Idea of Teleology* cit., p. 134). In altre parole, una finalità in senso pieno sembra essere quella ascritta – ora solo ed esclusivamente – alla cosiddetta teleologia cosmica, che è, in quanto *Weltanschauung* respinta dalla scienza, l'unica rispetto a cui parlare di teleologico, pur non corrispondendo a nulla di reale (MAYR, *Multiple Meanings* cit., pp. 35-36). Si tratta, però, di una risistemazione concettuale tarda, giacché in *Teleological and Teleonomic*, pur sorvegliato e via via ridefinito, il teleologico è predicato di un po' tutta quanta la costellazione di fenomeni che si stanno esaminando: *in extremis*, interrogandosi sul carattere funzionale dei sistemi statici contro la direzionalità dei comportamenti teleonomici, Mayr arriva a dire che «comunque, dal momento che si starà usando il cosiddetto vocabolario teleologico in entrambi i casi, si potrebbe sussumere le due categorie sotto la teleologia» (MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 106).

nuovamente riconosciuto nei riguardi della cibernetica è in tale senso che, alla sua luce, i movimenti teleologici organici siano spiegati in quanto «sono apparentemente intenzionali, essendo diretti a uno scopo», e «consistono in un comportamento attivo». Il programma diviene così, oltre al centro della nozione di teleonomia, anche il suo aspetto critico: anzitutto infatti è oggetto ricavato dalla teoria dell'informazione e dalle ingegnerie – essendo però considerato il discrimine del biologico contro la materia inerte –, quindi rende agibile un «comportamento apparentemente 'intenzionale'» – dove il punto di arrivo si presenta come scopo perché si dà un programma che lo predispone ma che è in se stesso completamente meccanico – e infine esprime un potenziale d'azione positivo comunque soggetto all'esecuzione in qualche modo passiva delle istruzioni programmate. Ciò nonostante, è precisamente questa componente che vuole allontanare le obiezioni classiche all'impiego della teleologia per comprendere il vivente, dal momento che è «qualcosa di materiale» ed «esiste prima dell'inizio del processo teleonomico», mantenendosi «compatibile con una spiegazione causale» e dunque con l'impalcatura teorica generale delle scienze naturali.

Va ammesso che il concetto «programma» è così recente che la diversità di significati di questo vocabolo non è stata ancora pienamente esplorata. Il termine è preso dal linguaggio della teoria dell'informazione. Un calcolatore è capace di agire intenzionalmente quando fornite le istruzioni programmate appropriate. In via provvisoria, un programma potrebbe venir definito come *informazione codificata o preordinata che controlla un processo (o comportamento) guidandolo verso un dato esito...* Contiene non solo il progetto, ma anche le istruzioni su come usare l'informazione del progetto. Nel caso di un programma informatico o del DNA del nucleo cellulare il programma è del tutto separato dal macchinario esecutivo. Nel caso della maggioranza degli automi fabbricati dall'uomo il programma è parte del macchinario complessivo⁸⁶.

Inoltre, nel dettaglio,

i programmi che controllano i processi teleonomici negli organismi sono o interamente predisposti nel DNA del genotipo («programmi chiusi») o costruiti in modo da poter incorporare informazioni aggiuntive («programmi aperti»)... acquisite tramite l'apprendimento, il condizionamento o tramite altre esperienze. La maggior parte del comportamento, specie negli organismi superiori, è controllata da programmi aperti di questo genere⁸⁷.

Differentemente da quando si è per la prima volta appropriato della parola, Mayr insiste in maniera particolare sulla flessibilità e la complessità di un programma che, per quello che concerne l'ontogenesi, «non induce un semplice dispiegamento di qualche *Gestalt* completamente preformata» (perturbazioni interne ed esterne sono ricorrenti, malgrado

⁸⁶ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 102.

⁸⁷ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 103.

«dispositivi omeostatici» e «retroattivi» garantiscano una adeguata canalizzazione dello sviluppo, sopportandone per così dire i rischi di deragliamento) e che, riguardo invece all'espressione di atti comportamentali intenzionali, è essenziale completi la sua scheda informativa a partire dall'esperienza individuale, agendo da quel momento come un programma chiuso (in un'estensione di casi il riconoscimento di conspecifici, di compagni sessuali o viceversa di predatori non è innato e dunque «solo parzialmente il risultato della selezione»). Il primo passaggio rivede le teorie cibernetiche, per cui non sono i meccanismi retroattivi di controllo e regolazione a consentire il movimento orientato secondo scopi, bensì meccanismi che invece di regolare precisamente il conseguimento di un certo stato finale causano da principio il processo. Nota a margine, i processi che sono di finalizzazione per il modo in cui il movimento è appunto iniziato non sono però invariabilmente accompagnati dalla presenza di anelli di retroazione. Il secondo passaggio segna poi in misura maggiore la distinzione fra programmi chiusi e programmi aperti, i quali sembrano implicitamente emanciparsi dal ruolo direttivo che i geni e la genetica avevano nell'introduzione e nella rappresentazione stesse del concetto di programma. Soprattutto nel comportamento animale ma comunque in un ampio numero di esempi di processualità orientata, la porzione della componente teleonomica non innata – e insomma non genetica – è rilevante o dal punto di vista quantitativo o da quello qualitativo. Anche qualora l'apporto informativo a cui il genoma contribuisce si dimostri predominante, nondimeno nei casi di informazione aperta al completamento variamente esperienziale sussistono l'operatività e la natura di un programma e anzi si deve riscontrare l'esistenza stessa di questo calcolatore comportamentale. Delicato è congetturare il modo in cui sarebbe riempito di contenuti, fissato in moduli ben determinati e quindi reso materialmente organico dentro l'organizzazione globale delle strutture e degli eventi fisiologici di un individuo: forse è «codificato chimicamente (p.es. RNA) o attraverso una configurazione altamente specifica di sinapsi o entrambe le cose». Dove prima, in altri termini, la finalizzazione è stata interpretata come programma genetico, adesso il peso e l'evidenza di un comportamento delimitato dall'apprendimento e dall'esperienza sembrano dover essere ricondotti a un sostrato non genetico, magari metabolico, neurologico o fisiologico in senso lato, conservando in ogni modo la forma del programma e una qualche sua schematicità⁸⁸.

⁸⁸ L'importanza, fondamentale, che per Mayr detiene l'immagine del «programma» è ulteriormente estesa e approfondita nella sua speculazione successiva, anche a fronte delle difficoltà incontrate nell'applicarla all'ambito del biologico e della critica ai postulati basilari della Sintesi Moderna. Progressivamente, mentre

La criticità del teleonomico – per così dire gli orli lungo i quali il suo tessuto si strappa per sfumare in domini ontologici differenti – risiede sia già nel valore esplicativo che vanta nei riguardi dei fenomeni suoi caratteristici sia poi nelle relazioni intrattenute con sistemi biologici non processuali. «Deliberatamente» viene in effetti definito «in modo da evitare di tracciare una linea tra il comportamento apparentemente ‘intenzionale’ negli organismi e nelle macchine fabbricate dall’uomo». Recuperare immagini e armature teoretiche proprie delle ricerche su automazione, cibernetica e informatica è consentito da una sostanziale affinità, quando non identità, che i movimenti diretti a un fine possiedono in etologia e nei processi ontogenetici rispetto a quegli automi, servomeccanismi o sistemi autonomamente regolantisi che la tecnica rende in grado di progettare. Anzi, la possibilità di costruire oggetti materiali e meccanici che operano per assolvere certe funzioni – le quali hanno guidato i disegni dei progettisti e il montaggio dei pezzi – è precisamente ciò che fa della teleonomia organica una realtà sperimentale ed epistemologicamente comprensibile.

Il programma più semplice è forse il peso inserito nei dadi truccati o attaccato a una ruota numerica ‘bloccata’ cosicché sia probabile che si fermino su un dato numero. Un orologio è costruito e programmato in maniera tale da battere l’ora. Qualunque macchina che venga programmata a perseguire attività dirette a uno scopo è capace di farlo *meccanicamente*⁸⁹.

Altri esempi, più rappresentativi di una processualità teleonomica poiché più complesso è il loro comportamento, comprendono l’azione di meccanismi retroattivi necessari a una

a diversi ricercatori le relazioni tra i geni, la loro espressione e l’ambiente appaiono complicarsi e il genocentrismo viene messo in discussione, la porzione non genetica di un organismo risalta nella sua autonomia e nel suo ruolo causalmente significativo, non escludendone i risvolti evolutivi. È su questa scia che si può leggere MAYR, Recapitulation Reinterpreted: The Somatic Program, *The Quarterly Review of Biology* 69.2 1994, pp. 223-232, dove a partire dal tema dello sviluppo embrionale, che esibisce il cosiddetto fenomeno della ricapitolazione, si propone l’esistenza di un «programma somatico» oltre a quello genetico. «L’idea originaria e semplicistica che geni specifici controllino la formazione di tutte le strutture e le altre proprietà di un organismo è definitivamente abbandonata. Molte strutture si sviluppano durante l’ontogenesi attraverso un’interazione di geni specifici e l’ambiente somatico della struttura che si sta sviluppando... Le capacità attive dei tessuti embrionali circostanti formano il programma somatico» (Ivi, p. 230). Di più, gli stessi esempi portati a sostegno della teleonomia ‘a programma genetico’ vengono ridefiniti in una nuova veste: «quando un uccello maschio si mostra a una femmina, il corteggiamento non è programmato direttamente dal programma genetico nel suo genoma, ma piuttosto il programma genetico è stato tradotto durante il suo sviluppo in un programma somatico... nel suo sistema nervoso centrale» (*Ibid.*). Tanto nel caso degli eventi morfogenetici e della crescita quanto in quello del comportamento animale, non è facile conservare la nozione informatica e cibernetica del programma – sin dall’inizio, per così dire, cucita su misura del genotipo – e, al tempo stesso, duplicarne e trasformarne radicalmente i connotati facendo del programma una qualsiasi componente organica dell’individuo. Potrebbe anzi essere contraddittorio perdurare in questa concettualità nel momento in cui l’attività direttiva e organizzatrice può essere riconosciuta in modo adeguato all’organismo e le sue parti, almeno sotto un certo aspetto indipendentemente dal primato causale dei geni.

⁸⁹ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 103.

corretta ed efficiente esecuzione del movimento: un termostato regola la temperatura di un'abitazione accendendosi se scende sotto una certa soglia e spegnendosi al suo raggiungimento, mentre un siluro è calibrato al fine di esplodere al momento stabilito e contro la nave che è stata individuata. *De facto*, in conclusione, un individuo vivente o una sua componente sono calcolatori o almeno macchine comportamentali, teleonomicamente indistinte da quelle assemblate da operai e ingegneri. Salvo ciò, che è uno dei nervi della nozione di teleonomia, rimane comunque il carattere attivo – se si vuole, propulsivo – che un processo di finalizzazione sembra possedere, al contrario di una meccanica subalterna di regolazione e retroazioni. Nelle immagini proposte a termine di paragone, viene rappresentato allora nelle fattezze di un intervento intenzionale umano:

L'aspetto veramente caratteristico di un comportamento che mira a uno scopo non è che esistano meccanismi per migliorare la precisione con cui uno scopo viene raggiunto, ma piuttosto che esistano meccanismi per iniziare, cioè causare, questo comportamento che mira a uno scopo. Non è il termostato a determinare la temperatura di una casa, bensì la persona che imposta il termostato. Non è il siluro a determinare verso quale nave sarà lanciato e in quale momento, ma l'ufficiale di marina che fa partire il siluro. Retroazioni negative migliorano solamente la precisione del movimento mirante a uno scopo, ma non lo determinano⁹⁰.

Una simile agenzia diviene invero problematica quando il modello del calcolatore teleonomico non è stato avanzato come una similitudine estemporanea, perché nel fatto di risultare una realtà tecnologica accessibile dal punto di vista empirico è illustrativa della stessa natura del biologico. Dadi e orologi esibiscono di per sé una sorta di rudimentale programmazione, mentre termostati, siluri e altri congegni meccanici incorporano veri e propri programmi di esecuzione: ciononostante, la finalizzazione che li mette in moto non sembra esser immagazzinata tanto nel programma, complesso o meno che sia, quanto nell'azione degli uomini che lo disegnano, lo avviano e se ne servono. Eliminando il personaggio umano dall'immagine, una specie di meccanismo di innesco o uno stimolo indipendente dovrebbero venire contrassegnati da quella agenzia che rende il programma teleonomico non un semplice apparato cibernetico di circuiti retroattivi, ma una sorgente di comportamento in positivo. Se per sancire l'autonomia dei manufatti si è introdotta problematicamente l'azione dall'esterno degli uomini e pertanto non è la nozione di programma a procurare loro un fattore di attivazione, la situazione sembra capovolta negli esempi biologici e genetici che il paragone intende tuttavia chiarire. Il genotipo è difatti

⁹⁰ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 100.

capace di guidare l'organizzazione organica in modo indipendente da azioni esterne e, parimenti, appare un insieme di programmi, altamente complesso per numero e finezza di percorsi di sviluppo: anche se non nella modellizzazione teorica, si può qualificare *de facto* come il più sofisticato dei programmi informatici dentro l'architettura di una macchina⁹¹. Inoltre Mayr si concentra su un secondo aspetto, mentre rimarca il tratto di processualità che contrassegnerebbe il teleonomico, volgendosi a raffinare le distinzioni che sta mettendo in campo per sciogliere l'eterogeneità degli oggetti teleologici. Sistemi statici non possono essere inclusi in questo gruppo perché non dispiegano affatto, finché considerati nella loro struttura in sé e per sé, alcun movimento e dunque non agiscono né agiscono in direzione di uno scopo. In effetti fra tali sistemi rientrano non soltanto corpi o parti dei corpi organici, ma anche prodotti della tecnica, nella misura in cui contingentemente non siano impegnati nel movimento che indirizza verso un obiettivo.

Estendere il termine «teleologico» per coprire anche sistemi statici porta a contraddizioni e illogicità. Una torpedine che sia stata sparata e si muova verso il suo bersaglio è una macchina che mostra un comportamento teleonomico. Ma che cosa giustifica a chiamare un siluro un sistema teleologico quando, assieme a centinaia di altri, è ammassato in un deposito d'armi? Perché l'occhio di una persona addormentata dovrebbe venire chiamato un sistema teleologico? Non è diretto a un fine in nessun modo⁹².

Una prima demolizione del problema sta nel riconoscere «due fenomeni solo in parte sovrapposti», su un versante quelli che sono «potenzialmente capaci di compiere azioni teleonomiche, come un siluro», mentre sull'altro quelli che risultano «ben adattati, come l'occhio». Gli adattamenti non possono ritenersi teleologici dal momento che ciò «riflette più che abbastanza la vecchia idea di un'evoluzione guidata a un fermo progresso nell'adattamento e nella perfezione». Le «asserzioni adattative» (*adaptational sentences*),

⁹¹ Sul dibattito sorto attorno alla teleologia, variamente intesa dai diversi teorici, di artificiale e naturale, si veda il ripensamento di MAYR, *The Idea of Teleology* cit., p. 127: «Nella mia proposta originale ho suggerito che si potrebbe espandere l'applicazione del termine "teleonomico" per includere anche il funzionamento degli artefatti umani (p.es. dadi truccati) che sono aggiustati in una maniera tale da assicurare uno scopo desiderato. Questo impiego esteso del vocabolo è stato criticato e adesso reputo che gli artefatti umani siano soltanto analoghi. Attività veramente teleonomiche dipendono dal possesso di un programma». Si tratta in realtà di una ritirata sbrigativa e, inoltre, dimentica della centralità che la metaforologia tecnica e informatica possiedono da principio nel generare e nello strutturare i concetti dei comportamenti programmati teleonomici. La teleonomia come Mayr la intende e per gli obiettivi teoretici cui ambisce non può non essere sottilmente innervata da quella dimensione meccanica, cibernetica e informatica che in modo dichiarato non fa distinzione di artificiale e naturale. Non si può, se non altro, ignorare la problematicità dell'esempio degli elaboratori elettronici: forse i dadi truccati e gli orologi sono «analoghi» e non dimostrano direzionalità, ma allora quali sono le reciproche somiglianze e differenze di un calcolatore e un organismo, sotto il profilo del comportamento secondo programma? Comunque è sulla stessa linea, nella polemica contro Krieger, MAYR, *Multiple Meanings* cit., p. 39.

⁹² MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 105.

come sono state definite le formule verbali e concettuali che applicano idee circa l'«adattamento», l'«adattato» o l'«adattativo», non necessitano di riferirsi a fini o altri oggetti non empirici per essere sensate. Un tratto adattativo risulta semplicemente «il prodotto del processo di selezione naturale» e «favorisce il perpetuarsi del genotipo responsabile per questo tratto»: pertanto, solo dopo che un individuo o una popolazione che lo possiedono si siano riprodotti efficacemente, un carattere strutturale, fisiologico o comportamentale diviene un adattamento. Allo stesso tempo «“diretto a uno scopo”, in un senso letterale più o meno netto, non è d'obbligo uguale a “finalizzato”», giacché «sistemi completamente stazionari possono essere funzionali o finalizzati, però non sono diretti a uno scopo in alcun senso letterale». *Functional* o *purposive* è a esempio un flacone di veleno appoggiato su uno scaffale che possiede il «potenziale di uccidere qualcuno»: questo tipo di finalità denota una sua «proprietà intrinseca», che tuttavia «non lo rende un oggetto orientato a uno scopo». Un corpo – o un corpo per così dire immobile, «statico» –, di cui si sfruttino le caratteristiche per sortire certi effetti, si presta quindi a venire adeguatamente descritto dalla sua funzione, sia essa esplicitata al momento in atto oppure permanga ancora potenziale. Però, sebbene introdotto per rendere conto di capacità come quelle di un occhio, cioè un adattamento, il funzionale non deve appartenere a queste strutture organiche se il fatto che siano adattative è dipendente da un criterio di pura storicità, sfuggendo pertanto alla dimensione di finalità che interessa vuoi in una maniera vuoi in un'altra tutto quanto il repertorio di sistemi teleologici. Ulteriore complicazione, «particolarmente acuta», è costituita da quegli «organi biologici che sono in grado di effettuare utili funzioni» e insomma da «qualunque struttura organica»: quando si parla di strutture ben adattate, non appare possibile definirle funzionali nella misura in cui sono adattamenti, ovvero esito di dinamiche evuzionistiche che coinvolgono la selezione naturale – in altri termini, non come una boccetta di veleno –, ma che dovrebbero risultare «funzionali o finalizzate» se tale è la cifra dei sistemi statici. Quanto invece a riconoscerle teleonomiche,

numerosi sistemi adattativi, come per esempio tutti i componenti del sistema locomotore e di quello nervoso centrale, sono capaci di partecipare ai processi teleonomici o al comportamento teleonomico. Eppure, non si fa che offuscare il problema quando si designa un sistema «teleologico» o «teleonomico» poiché provvede le strutture esecutive di un processo

teleonomico. Un calcolatore inattivo, non programmato, è un sistema teleologico? Quale 'scopo' o 'fine' sta dispiegando durante questo periodo di inattività⁹³?

Un cuore permette la circolazione sanguigna e i reni la filtrazione dei liquidi corporei, come già al livello biochimico certe molecole assolvono certi usi in conseguenza della struttura che possiedono, ma mentre i processi corrispondenti sono teleonomici questi sistemi, materialmente e meccanicamente disposti in modo da determinarsi, a rigore non lo sarebbero.

Simili considerazioni hanno indotto alcuni autori, erroneamente a mio parere, a indicare un martello come un sistema teleologico, in quanto è disegnato per colpire un chiodo (una pietra, non essendo stata così progettata ma assolvendo la medesima funzione, non ne ha i requisiti!)⁹⁴.

Dunque,

si può rendere necessario coniare un nuovo vocabolo per sistemi che hanno il potenziale di dispiegare comportamento teleonomico⁹⁵.

Nel momento in cui, per riassumere, Mayr abbandona il dominio dei processi, siano passivamente governati da leggi meccaniche naturali o siano al contrario diretti in maniera attiva da un programma genetico come nei viventi, ciò che pur in via provvisoria si considera teleologico non riesce a venire ordinatamente discriminato. Fra i «sistemi», irrilevanti tipologia e grado della loro complessità, sono citati indistinti macchine o comunque oggetti artificiali, per un verso, ed enti naturali biologici, per l'altro (è per inciso accennato anche un esempio non biologico). Fonte della confusione è forse, al di là della difficoltà inerente alla questione i cui fili si stanno dipanando, sia il proposito di fornire una trattazione unica dei fini tanto nei manufatti quanto negli organismi viventi sia poi lo slittamento semantico della processualità, antitetica ai tratti salienti di questi sistemi stazionari. Teleonomici, difatti, sono solo ed esclusivamente quegli oggetti che sono processi dal punto di vista ontologico – azioni, comportamenti o dinamiche –, per cui sono inclusi i movimenti di una torpedine a guida automatica, la circolazione sanguigna e la fuga allarmata di una preda di fronte a una minaccia. Sotto questa luce già in se stessi l'ordigno e i suoi meccanismi, il cuore, le vene e i globuli rossi oppure l'animale in fuga sono di tutt'altro genere rispetto a processi: non si possono dire teleonomici, nonostante

⁹³ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 107.

⁹⁴ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 107.

⁹⁵ MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., p. 107.

siano chiamati in causa dallo svolgersi del comportamento programmato a cui sono soggetti. Dagli esempi portati, però, la processualità che l'autore vuole marcare nel definire la teleonomia assume in più punti le sfumature non di una forma ontologica, ma quelle di uno stato di moto, che può essere estraneo all'oggetto, potenziale o invece espresso. Non è insomma necessario che il siluro sia fermo in un deposito perché debba evitarsi di reputarlo teleonomico: anche nell'esecuzione corretta dei movimenti preimpostati sono questi ultimi a mostrarsi teleonomici e non la macchina nella sua struttura e composizione. Eppure, sembra che la linea di demarcazione riguardi non un sistema o un oggetto – per così dire una «cosa» –, da un lato, e il comportamento che esibisce, dall'altro, bensì il processo teleonomico e un sistema, capace o meno di esprimerlo, che comunque attualmente non lo esprime. A sua volta «l'occhio di una persona addormentata», posto sullo stesso piano del siluro inattivo, gli è uguale perché non esplicita il suo potenziale, ma, mentre l'arma azionata è soggetta a processi teleonomici, un occhio aperto in ogni modo non lo è e appare semplicemente una struttura adattativa. In altre parole, quali che siano le loro caratteristiche e lo stato di funzionamento, gli occhi sono adattamenti contrassegnati dalla storia naturale che li ha scoperti selettivamente vantaggiosi, senza implicazioni di teleonomia e di potenziale teleonomico. Non è chiaro a questo punto se agli oggetti adattativi appartenga *ipso facto* il «funzionale», che identifica esplicitamente il modo di poter impiegare un flacone di veleno inutilizzato e che viene proposto come classificazione dei sistemi statici di cui è l'occhio il rappresentante. Se così fosse, tuttavia, non si andrebbe a ricorrere a una nuova parola per designare «sistemi che hanno il potenziale di dispiegare comportamento teleonomico», a meno che questi ultimi non siano strutture organiche adattate particolari. Accanto a ciò, in virtù del fatto che il veleno non adoperato è funzionale quanto un occhio chiuso e che un calcolatore inattivo, non programmato, sta in relazione alle sue schede di funzionamento come l'apparato locomotore ai programmi senso-motori, si può predicare uno stato di adattamento anche dei termini non biologici di queste due comparazioni. Il caso della pietra usata come un martello è allora rivelatore della varietà – e, almeno in parte, della confusione – dei nodi teoretici in gioco: non si può dire che, così impiegato, quel sasso non serva funzionalmente come un martello, ma, se non lo si può intendere adattato a quella funzione (è assurdo inserirlo in una meccanica ecologica e genetica di selezione naturale, non essendo vivente), non è nemmeno funzionale come lo è il veleno capace di dispiegare il potenziale delle sue sostanze chimiche né

comunque possiede un potenziale quale quello del siluro inattivo. In verità è poco convincente anche descrivere il suo peculiare modo d'uso come lo svolgimento di un processo teleomatico, fermo restando che così si caratterizzerebbe i suoi comportamenti e non il suo aspetto di sistema. La teleonomia risulta quindi più sottilmente lavorata di quanto fosse la sua prima versione: il programma, già presente quale aspetto distintivo del fenomeno, viene indagato più a fondo nella sua articolazione concettuale – il modello aperto dei programmi, in specie, acquista una nuova rilevanza ed estensione –, ma nell'intento di recuperare e trattare scientificamente l'intero corpo degli oggetti teleologici è associato a un'ontologia processuale, rispetto a cui si delimitano altre categorie non teleonomiche. Al di là dei processi teleomatici, sono queste strutture a far esplodere le sfaccettature della finalità, biologica e non, perché talvolta sono legate ai movimenti teleonomici da un potenziale inespresso, altre volte lo sono da uno stato di adattamento e altre ancora paiono esibire potenziale d'azione ma senza teleonomia oppure avere funzioni senza essere neanche artefatti, siano provvisti o meno di una qualsiasi forma di programmazione. In aggiunta il fatto che, a eccezione dell'adattabilità – per quanto comunque in maniera problematica –, sia ininfluenza la dimensione storica, evolutiva e selettiva di fini e funzioni di cui si deve rendere ragione nelle scienze biologiche, riconosce un dominio autonomo e di fondamentale importanza a questi fenomeni, che, se non possono essere denominati teleologici, nondimeno della finalità conservano il repertorio lessicale e ontologico.

Anche se, già nel riprendere il neologismo inventato da Pittendrigh, Mayr sente di doverlo correggere e, in parte, di dover sviluppare ciò che intuisce in una propria direzione, inizialmente la portata della sua accezione di teleonomia è larga e generale quanto quella della formulazione originaria. *Cause and Effect in Biology* parte, *de facto*, notando che nell'impianto causale che le scienze biologiche ricostruiscono per la natura non si può tralasciare quella finalizzazione che sembra contrassegnare il comportamento animale, l'insorgere e l'esplicarsi dei processi dello sviluppo ontogenetico e forse anche le dinamiche evolutive nel loro complesso, per prima la selezione naturale. Queste ultime vanno però da subito escluse, perché le pressioni selettive – tale è il senso rivoluzionario e il nervo della teoria di Darwin – operano *a posteriori* e quindi ciecamente rispetto ai

risultati che ne scaturiscono nelle generazioni a seguire. Per il resto invece si è di fronte a un fatto empirico e, anzi, alla realtà che sancisce l'indipendenza della biologia dalle altre discipline: che l'evoluzione nella sua ampiezza processuale sia orientata al raggiungimento di certi esiti è falso, ma nel vivente – e nel vivente soltanto, escluso il dominio della fisica e della chimica – sono presenti sistemi direzionali che si spiegano a partire dallo scopo che attuano. Questi sistemi sono identici a quelli accessibili grazie alla possibilità tecnica di assemblare macchine e calcolatori, che in ragione della loro composizione meccanica e cibernetica sono in grado di eseguire operazioni anche non semplici, seguendo il programma che li conduce a un certo obiettivo prestabilito. Negli organismi i geni sono i migliori candidati a ricoprire il ruolo direttivo del programma, così che la teleonomia risulta esser in ultimo una «finalità puramente meccanicistica», dove gli scopi e gli stati finali dei componenti e i processi di un sistema ben organizzato sono quelli che, selezionati e incorporati dalla storia naturale delle specie, guidano *ab ante* la crescita, le risposte comportamentali e la riproduzione di un individuo. Anni più tardi, *Teleological and Teleonomic, a New Analysis* si propone da una parte di soffermarsi più a lungo sulla nozione, anche storico-culturale, di teleologia e dall'altra di precisare i termini entro cui è legittimo e teoricamente saldo richiamarsi alla finalità nei discorsi scientifici contemporanei. Se l'uso di vocaboli, formule e concetti teleologici è indispensabile nella pratica descrittiva ed esplicativa della biologia, dal punto di vista ontologico solo una classe di fenomeni si presentano finalizzati in modo inequivocabile. Teleonomici sono *stricto sensu* processi o comportamenti innescati, eseguiti e regolati secondo un programma, vuoi informatico in una macchina vuoi genetico o metabolico in un organismo vivente. Di nuovo, ciò accorpa l'etologia e i fenomeni dello sviluppo individuale, mentre esclude, date le rilevanti dissomiglianze, qualunque altro fenomeno biologico evolutivo e parimenti precisa che non ogni stato di cose al termine di un movimento è qualificabile come scopo. Particolarmente delicata, sull'altro versante dei processi teleomatici, sta a questo punto la distinzione dai sistemi statici, funzionali o adattativi, la cui caratterizzazione rimane oscillante e che sembra far riemergere la varietà e la complessità dei fini e della loro natura, trasversale in una accezione o in un'altra a oggetti inerti o animati, artefatti oppure naturali. Anche se sono più nette, nella speculazione successiva, le linee di demarcazione tra le diverse classi dei fenomeni già teleologici, la criticità del teleonomico continua a persistere a causa della sua congenita relazione di dipendenza da scienze

tecnologiche. Diventano insomma problematiche nella teleonomia la specialità della nozione di programma, l'accentuata processualità che ne definisce i comportamenti e la pretesa di non esaurire né sostituire la 'vecchia teleologia' essendo però, al tempo stesso, quanto di più simile a essa si possa riscontrare nella disamina scientifica della finalità.

III

Agenzia e teleologia dei processi teleonomici

Strutturando il teleonomico attorno alle promesse esplicative e ai caratteri del concetto di programma, è un ben determinata torsione quella che assume il problema concernente la presenza di fini, funzioni e altri oggetti a essi simili nella pratica e nella teorizzazione delle scienze naturali biologiche. La specializzazione cui è andato incontro il vocabolo nel pensiero di Mayr ambisce, da un lato, a una caratterizzazione scientifica esauritiva di quanto ancora si può dire finale nel dominio del vivente e si riallaccia, dall'altro, a temi generali di filosofia della scienza e di filosofia *tout court*. Pur entro i termini circoscritti – e sotto alcuni aspetti invero idiosincrasici – nei quali si è legittimati in ultimo a trattare scientificamente la teleologia, non viene perciò meno il legame che i dibattiti circa il fine conservano con modi, di più profondo respiro teoretico, di rappresentare e intendere il vivente. La teleonomia in generale e la versione che ne fornisce questo autore in modo speciale mirano sì a intagliare la questione secondo certi precisi angoli, cosicché non diviene possibile rinchiudere qui la complessità dei nodi concettuali in campo, ma esprimono al tempo stesso in maniera netta ed evidente le istanze di una vera e propria teoria della natura in parte ancora implicita. La nozione di processo teleonomico organico, ossia una forma di finalizzazione dinamica raggiunta dall'operare di una serie di istruzioni, si coglie vulnerabile nell'atto stesso di ripercorrerne i contorni, nonostante la critica meriti di venire estesa. Un primo aspetto su cui concentrarsi riguarda quell'elemento, epistemologico per un verso e però tecnico e materiale per un altro, che sono i programmi cibernetici e informatici: a manufatti di tale genere si riconducono infatti proprietà o, a ben guardare, porzioni del regime causale caratteristico degli organismi viventi naturali. Nella teoria delle comunicazioni, tuttavia, l'informazione svolge un ruolo a cui complessi biochimici come sono i geni non sembrano adempiere in modo corrispondente. Al di fuori di quella che presenta i tratti di una opera di meccanicizzazione, in secondo luogo è invece

importante rilevare i problemi che derivano alla teleonomia dal ricorso ai programmi nei termini in cui sono chiamati in causa e in virtù di ben determinati obiettivi epistemologici. Si può così analizzare i processi teleonomici alla luce di due categorie basilari, che appartengono alla logica intrinseca che sostiene il concetto: prima, il portato di azione o attività – dunque l’agenzia complessivamente espressa dal fenomeno – e, poi, la finalità in se stessa. Poiché infatti è questa che deve venire riformulata in un modo coerente dal punto di vista scientifico, sorge l’interrogativo riguardo a che tipo di causalità sia inteso sostituirla e come riesca a farlo. Quando al contrario si perduri nel definirla finalizzazione, il dubbio è allora attratto da che tipologia di finalità sia proposta per ridurre una proprietà naturale apparente che, nondimeno, rimane connessa con un oggetto come uno scopo. Svincolandosi dai costrutti teorici che emergono dai tentativi di Mayr di chiarire la questione, il teleonomico viene pertanto indagato come una forma speciale e particolarmente esigente di ciò che è ancora lecito denominare *lato sensu* teleologia.

3.1 Ruolo e tensioni delle immagini informatiche in biologia

Nel trattare il vivente e quella sua speciale caratteristica che è l’apparente finalizzazione, il punto di riferimento dei biologi teorici, all’indomani del consolidamento della Sintesi Moderna, è stato un ambito interdisciplinare costituitosi di recente ma nondimeno dagli sviluppi promettenti: sotto un’unica etichetta, le scienze dell’informazione, che provvidero modelli astratti e un vocabolario concettuale generale alle ricerche applicate di ingegneria delle comunicazioni e, proprio da queste, vennero stimulate e corroborate. Pur essendo uno dei primi autori a usare l’immagine del programma – poi programma genetico –, tra l’altro definendola e incardinando su di essa un aspetto importante del suo pensiero, è possibile che Mayr abbia consegnato alla letteratura scientifica una nozione che, in via informale, già circolava da tempo fra gli ambienti dove si confrontavano fisici, ingegneri, genetisti e biologi dai differenti interessi⁹⁶. Che il genotipo assomigliasse a un

⁹⁶ Da un lato JACOB FRANÇOIS & MONOD JACQUES L., Genetic Regulatory Mechanisms in the Synthesis of Proteins, *Journal of Molecular Biology* 3.3 1961, pp. 318-356 e dall’altro appunto MAYR, Cause and Effect cit. sono gli articoli scientifici cui per primi si rimanda per l’elaborazione della similitudine. Nella ricostruzione storica di PELUFFO ALEXANDRE E., The “Genetic Program”: Behind the Genesis of an Influential Metaphor, *Genetics* 200.3 2015, pp. 685-696, si prova a tracciare la rete di influssi e di scambi reciproci alle spalle di queste pubblicazioni: da fonti di diversa provenienza, contemporanee e successive a quell’anno, avanza «la possibilità che la metafora fosse già in uso prima del 1961 e che interagendo con lo stesso gruppo di biologi Mayr e Jacob e Monod l’avrebbero udita da qualche parte», a maggior ragione

codice di trascrizione, per esempio, era immagine ampiamente diffusa, sebbene non ne fossero ancora chiari la struttura materiale e il potenziale fisiologico, e almeno all'inizio il programma genetico venne inteso appunto in questa maniera⁹⁷. Come di quella del codice, la nascente biologia molecolare sembra che si sia impadronita di altre simili metafore dall'informatica e la cibernetica, rimarcando così un settore di studi proprio rispetto alla chimica in senso lato – emergente dalla particolarità delle molecole di acido nucleico e da quella delle reazioni che le coinvolgono, da cui dipendono la sintesi proteica, la regolazione metabolica e la riproduzione – e insistendo tuttavia sulla continuità metodologica ed epistemologica con il resto delle scienze naturali. Così, nel momento in cui si guarda alla nozione di programma per stemperare il disagio, i problemi e gli errori ascritti a un qualche ricorso ai fini in biologia, tale sensibilità è in parte inscritta in un movimento di più larga considerazione dove servomeccanismi e macchine computazionali di diverso

perché in modo esplicito «mai menzionarono di essere i promotori della metafora» (Ivi, p. 694). Se Mayr «impiega le due parole “programma” e “codice” interscambiabilmente» e il suo è «un programma dello sviluppo specie-specifico», pur restando all'interno di un quadro teorico embriologico Jacob e Monod concentrano la loro attenzione su un aspetto in parte divergente. Nella chiusura speculativa dell'articolo, l'operone, modello per il controllo della sintesi proteica da parte di geni regolatori, è proposto a spiegare il fatto generale che «cellule portatrici del medesimo genoma abbiano fenotipi e comportamenti diversi» e, in tal senso, anche se «tutti quanti sono inclusi nel genoma», vengono distinti «una serie di progetti» (i geni strutturali veri e propri), «un programma di sintesi proteica coordinato» e infine «il mezzo di controllo della sua esecuzione» (i geni regolatori). Le istruzioni in senso stretto sono «non l'intero genoma ma unicamente una sua porzione», «quindi una componente organizzativa per il resto del genoma», e perciò «si può pensare come un programma dello sviluppo» che non risulta «elemento sufficiente e necessario per lo sviluppo di un organismo o la vita di una cellula» (Ivi, pp. 686-687). Vale la pena notare, a testimonianza della ricchezza e insieme della fluidità concettuale che interessava la sistematizzazione della materia in quel periodo, che sia lo scritto di Jacob e Monod sia quello di Mayr possiedono «la curiosa caratteristica comune che le parole “programma genetico” non sono scritte *verbatim* da nessuna parte in entrambi i casi» (Ibid.).⁹⁷ Si veda di nuovo PELUFFO, The “Genetic Program” cit., p. 693: a metà degli anni 1940, nel suo saggio *Che cos'è la vita?* Erwin Schrödinger, noto per i suoi importanti contributi alla meccanica quantistica, si era interrogato su come riuscire a provvedere una descrizione fisica per i fenomeni del vivente. «In mezzo all'abbondanza di metafore informatiche che scorrevano da fisica e scienza dei calcolatori verso la biologia dopo la guerra», lo scienziato austriaco ha parlato di un «codice» ereditario (*code* o *code-script*), esercitando una certa suggestione sui protagonisti della nascente biologia molecolare. Soltanto qualche tempo più tardi, prima l'esperimento di Avery, MacLeod e McCarty (1944) e dopo quello di Hershey e Chase (1952) dimostrarono in modo palese che i geni sono formati di acido deossiribonucleico e non di proteine, come era opinione predominante sino a quel momento, mentre la struttura chimica e funzionale della molecola sarebbe stata chiarita dal biochimico statunitense James Watson e dal suo collega inglese Francis Crick nel 1953. Schrödinger, pertanto, ancora congettura un «cristallo aperiodico» quale modulo molecolare basilare che contraddistinguerebbe i cromosomi e che, nel presentare schemi di configurazione atomica che non si ripetono uguali a se stessi, genera proprietà varie e sempre nuove a livello dell'organismo nella sua interezza. Il codice, organizzazione del cristallo aperiodico, trascrive il reticolo cristallino cromosomico nello sviluppo di un individuo vivente e, nel suo essere programma embriologico e ontogenetico, gode assieme del ruolo di «codice di legge e autorità esecutiva» o, detto altrimenti, di «progetto di architetto e tecnica di muratore». Peluffo cita pertanto SCHRÖDINGER ERWIN, *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge 1944 (trad. it. di Ageno Mario, *Che cos'è la vita? La cellula vivente dal punto di vista fisico*, Milano 1995).

genere offrono un ricco e solido paesaggio metaforico cui richiamarsi, per descrivere oggetti salienti delle scienze della vita che esigono una cornice teorica *sui generis* ma che vengono rimodellati su quella di teorie scientificamente ben accreditate. Eppure, il concetto di programma non corrisponde ad altro che a un programma informatico da calcolatore che in qualche modo si riscontra essere installato, modulato ed eseguito nell'architettura dell'organismo vivente, sotto le fattezze appunto dei geni. Se ciò permette a una teleonomia come quella di Mayr di sfuggire alle critiche mosse genericamente contro i vitalisti, consentendo allo stesso tempo di rendere conto di quei fenomeni di finalizzazione che un meccanicismo rigido trascura nei viventi, è anche vero che da una simile comparazione sortiscono dubbi e aspetti contraddittori. In effetti, una visione informatica e cibernetica del biologico si presenta virtualmente come una specie di meccanicizzazione a sé stante e quanto più il programma genetico è *ad litteram* un programma – e non può non esserlo, se deve fungere da rimedio antiteleologico e, per così dire, parameccanico – ne risalta la criticità⁹⁸.

Una analisi preliminare, nel saggiare la tenuta di questa immagine e la sua efficacia all'interno dell'idea di teleonomia, concerne il fatto che il gene o più in esteso il genotipo sono stati riconosciuti sorgente e portatori di informazione. Dal dominio della logica e della matematica cui appartiene in origine, l'informazione, così intesa, è apparsa una qualità strutturale del vivente o meglio di un livello di organizzazione biologica elementare, al tempo stesso trasversale alle specie, semplice e continuo con le descrizioni fisiche e chimiche. Nella cibernetica, dove la nozione ricopre un ruolo importante e ben determinato dal punto di vista concettuale, si è precisata e ha infine raggiunto un considerevole grado di formalizzazione, divenendo una grandezza suscettibile di osservazione, misura e calcolo al pari di altre grandezze naturali. Legata da una parte alla complessità del segnale che veicola e dall'altra allo stato di ordine che esprime il sistema da cui si può ricavare, l'informazione contribuisce a descrivere la fisica di certi oggetti ed eventi

⁹⁸ Intuisce bene i due poli da cui è epistemologicamente attratto il concetto di programma GREENE, *Science, Philosophy, and Metaphor* cit., pp. 321-327: «strano a dirsi, il codice genetico gioca un ruolo duplice nella doppia guerra di Mayr contro i riduzionisti meccanicistici da una parte e i vitalisti e finalisti dall'altra. Contro il campo vitalista-finalista, il codice genetico, concepito originarsi meccanicisticamente per mezzo di processi chimici ordinari, serve da spiegazione meccanicistica dello sviluppo embriologico nei termini di proprietà e reazioni chimiche che non lasciano nessuno spazio a entelechie, forze vitali o cause finali. Contro i fisicalisti, tuttavia, il codice genetico serve a distinguere i fenomeni organici da quelli inorganici, sia grazie alla sua capacità di autoreplicazione e di iniziare e controllare sviluppo e comportamento diretti a uno scopo e sia anche grazie al suo modo peculiare di sottoporsi a una lenta trasformazione attraverso processi variazionali e selettivi di un genere sconosciuto nella natura inanimata».

mediante la sua equivalenza formale all'entropia termodinamica. Nondimeno, il contenuto teorico speciale che, date queste generalità, possiede all'interno delle scienze informatiche è stato acquisito attraverso una serie di passaggi storico-disciplinari a valle dei quali rimane comunque possibile riconoscere l'indipendenza dei differenti significati che dopo si sono fusi. Inoltre, possono essere individuati almeno due modi generali con cui i teorici della disciplina hanno sin dall'inizio lavorato sul concetto di informazione, concentrandosi ora su un suo aspetto particolare e ora su un altro: i problemi che meglio la esibiscono riguardano da un lato la trasmissione di un messaggio, codificato in una successione di segnali, e dall'altro i processi di elaborazione dei dati. A seconda di quale sia la cornice concettuale a definirlo, il rapporto che si può scorgere tra informazione, ordine e casualità non è lo stesso. Mentre i messaggi tendono a essere massimamente informativi quanto più i segnali discreti che li compongono risultano ben organizzati e trasmessi in maniera corretta (complessità vuol dire ordine e riduzione del caso, cioè entropia negativa), viceversa i programmi generano e maneggiano agevolmente sequenze di dati se in esse i valori si alternano in schemi regolari, prevedibili e perciò meno informativi (complessità come disordine e aumento del caso, cioè entropia positiva)⁹⁹. I biologi molecolari

⁹⁹ In LONGO GIUSEPPE, MIQUEL PAUL-ANTOINE, SONNENSCHNEIN CARLOS & SOTO ANA M., Is Information a Proper Observable for Biological Organization?, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 109.3 2012, pp. 108-114, qui pp. 109-111 è offerta una prospettiva panoramica del definirsi storico della nozione. I primi passi furono quelli mossi all'inizio del Novecento da Kurt Gödel, per la formalizzazione di codici numerici logico-matematici, e da Alan Turing, per la sua immaginaria Macchina Calcolatrice Logica, capace di manipolarli. Dalla crittografia rimase suggestionato Schrödinger, che per il cristallo aperiodico propose di legare il codice della sua organizzazione strutturale all'ordine che così ne viene esibito, cioè alla negentropia. L'entropia del suo predecessore, Ludwig Boltzmann, sarebbe stata richiamata quindi da nomi importanti della teoria dell'informazione negli anni 1940, '50 e '60, come il matematico americano Claude Shannon, il fisico francese Léon Brillouin e il matematico russo Andrej Kolmogorov. Non si può esaurire qui l'ampiezza e la complessità di una ricerca storiografica e assieme teorica volta a far luce su che cosa sia l'informazione, già solo per la scienza dei calcolatori che in questi decenni si è consolidata, ma basta in certo senso rilevare che a definirla concorrono una pluralità di discipline e sfaccettature concettuali non necessariamente convergenti. Per Schrödinger, a esempio, l'entropia negativa non è informazione – termine assente in *Che cos'è la vita?* – ma ordine in un'accezione termodinamica, connessa esplicitamente con l'energia libera di Gibbs e in generale con l'entropia di Boltzmann. Da un lato, Shannon provvederà le basi matematiche per l'equazione di entropia negativa *à la* Boltzmann e informazione, che sono giustificate dal punto di vista formale da Brillouin alcuni anni dopo: il fenomeno di loro interesse, però, non sono i cromosomi o un altro aspetto del biologico, bensì il problema dell'efficienza nella trasmissione dei messaggi via cavo. Dall'altro lato, lo stesso Boltzmann non aveva introdotto la sua misura del disordine in relazione a una qualche evidenza di organizzazione, per cui il vivente sorpasserebbe i corpi inerti: l'entropia è disordine fisico, meccanico e termodinamico, statisticamente inteso, e la sua realtà materiale di riferimento è quella di un volume di gas chiuso in un contenitore ermetico, isolato dall'ambiente esterno. Significativamente, gli autori in questione non appartengono che a una delle due modalità di analisi secondo cui, nell'argomentazione che Longo e colleghi conducono, la trasmissione dell'informazione è opposta all'elaborazione: se la tesi particolare e la ricostruzione che sono avanzate nell'articolo si possono rivedere o contestare, comunque diventa arduo ignorare i materiali eterogenei e le contingenze storico-concettuali di cui sono composte le idee sotto esame.

e gli evolucionisti che si sono richiamati a simili nozioni non sembra che abbiano agito estendendone la portata ai fenomeni di loro interesse e, insieme, conservandone il rigore e la purezza metodologica che le distingue nella teoria delle comunicazioni. L'informazione genetica non è informazione *stricto sensu* rispetto alla quale sarebbe a ragione l'apparato teorico e invero matematico di queste altre scienze a fornire una trattazione propria ed esaustiva. Non pare neanche, poi, che il carattere informativo degli acidi nucleici entri in una sottocategoria a sé stante e però coerentemente inclusa nella definizione di informazione, come se l'informazione biologica non fosse né potesse essere trattata dal punto di vista formale allo stesso modo di quella di calcolatori e apparecchi di trasmissione, ma sia comunque a essa riconducibile. Il fatto che questi autori non siano consapevoli delle distinzioni rilevanti interne alla cibernetica, che le lascino implicite e sfocate oppure che le nominino ma confondendole lascia pensare che, in realtà, l'attrattiva esercitata dal concetto di informazione sia dovuta ad altro¹⁰⁰. Si potrebbe reputare che il riferimento sia di

¹⁰⁰ LONGO *et al.*, Is Information a Proper Observable cit., pp. 110-111 contrappone le due vie per la formalizzazione del concetto di informazione. Per la prima, l'informazione si presenta come elaborazione di dati, nei termini in cui ha preso a lavorarci Turing e che tramite Kolmogorov e in ultimo il matematico argentino-statunitense Gregory J. Chaitin precisa il suo significato algoritmico, facendo dunque delle istruzioni contenute in un programma una componente indispensabile per la sua definizione. Per l'altra, invece, l'informazione riesce correlata ai segnali che vengono trasmessi e al grado della loro dispersione, seguendo Shannon e Brillouin. Appunto, la linea di Turing, Kolmogorov e Chaitin appoggia l'uso della nozione di programma, legandola però alla minore complessità dei dati che un algoritmo è capace di riprodurre: «un gas massimamente disordinato (massima entropia) avrebbe massima complessità» in quanto «sarebbe richiesto un programma veramente lungo per descrivere posizione/momento di *ciascuna singola* particella». Eppure, «da un punto di vista biologico ciò è alquanto assurdo, perché un topo sarebbe meno complesso di un gas di uguale volume: conterebbe meno *informazione*». Rinviando a questa analisi, PERRET NICOLE & LONGO GIUSEPPE, Reductionist Perspectives and the Notion of Information, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 11-15, qui pp. 12-13 insiste sulla confusione che, nell'attingere alle categorie della cibernetica, manifestano inconsapevolmente i biologi. «Il Dogma Centrale della biologia molecolare... suggerisce che la descrizione della struttura chimica della molecola di DNA rappresenta bene il cuore della visione informatica/algoritmica dei fenomeni biologici», dato che «l'espressione da acido nucleico a proteina è un flusso di informazione unidirezionale», ma «quale teoria dell'informazione è interessata qui?». Infatti, esaminando per esempio MAYNARD SMITH JOHN, The Concept of Information in Biology, *Philosophy of Science* 67.2 2000, pp. 177-194, «Maynard Smith... si riferisce in modo esplicito all'elaborazione di informazione (Turing-Kolmogorov) e alla trasmissione di informazione (Shannon-Brillouin), mentre evidenzia la rilevanza della *seconda* nella biologia». Tuttavia, notano gli autori, l'evoluzionista e genetista britannico «spiega come la codificazione molecolare possa fungere da breve "ricetta" (sue le parole) per generare oggetti complessi ma organizzati (ordinati)» e «questa nozione di un programma breve (compreso) per un oggetto organizzato e di una complessità informazionale (massima) del disordine è quella di Kolmogorov ed è covariante con l'entropia». A questo punto, è degna di considerazione la possibilità che alle origini del programma biologico non stesse una sua esclusiva derivazione dall'informatica: PELUFFO, The "Genetic Program" cit., p. 688-689 riporta che «nell'inglese americano "program" appartiene ai calcolatori e "programme" è un prospetto, un elenco di cose da fare» e «la distinzione non è banale». Quando Jacob e Monod parlarono per la prima volta di un «programma di sintesi proteica coordinato» forse avevano ancora in mente il significato originario del vocabolo, vale a dire «una serie organizzata di eventi, come un programma di un convegno, un programma di ricerca»: quindi, «il programma genetico sarebbe un prospetto degli stadi di espressione dei geni necessari allo sviluppo o alle risposte fisiologiche». All'inizio

tipo meramente metaforico – forse, l’informazione quale proprietà che rende conto della propensione a organizzare componenti e processi materiali in modo regolare –, senza che ci si voglia impegnare a caratterizzare sotto l’aspetto ontologico e logico la metaforologia informatica e la sua relazione con il vocabolario originario delle scienze della comunicazione. Tuttavia, se pure spesso sono presentate come vantaggiose da un punto di vista pragmatico, operativamente provvisorie e funzionali ai fini della divulgazione scientifica, queste immagini non si limitano a essere un espediente espressivo più o meno comodo, ma, consistenti e ricche di significato, assolvono in effetti a una necessità teoretica ed epistemologica basilare¹⁰¹.

Il nervo dei concetti incardinati sulle teorie dell’informazione ma adattati alle scienze biologiche giace infatti nel loro ruolo esplicativo, nel senso che questi sono espressamente recuperati per riuscire a denominare un insieme di fenomeni altrimenti ignoti o non intelligibili in maniera adeguata, a rilevarne gli aspetti salienti e in ultimo a chiuderli in una rappresentazione generale della natura che si vuole coerente. Le

perciò i due biologi molecolari apparivano «meno influenzati dalla scienza dei calcolatori», per quanto in seguito – l’opinione di Mayr può essere stata determinante – Jacob si è allineato a un’interpretazione cibernetica dell’immagine del programma, dove invece Monod «sembrava meno entusiasta» e «raramente la usò».

¹⁰¹ PERRET & LONGO, *Reductionist Perspectives* cit., p. 12 lamenta la ‘scappatoia’ che è fornita ai ricercatori quando si calcano gli aspetti ambigui di un vocabolario derivato dalla contaminazione di biologia e informatica: «di fronte a questo genere di critiche, spesse volte i biologi difendono l’uso dell’idea di informazione oltre che i concetti di segnale e programma, come *soltanto* metafore utili o mezzi fruttuosi con cui avvicinare un fenomeno impiegando un’immagine presa a prestito dal senso comune», ma, se così fosse, si avrebbe a che vedere con «una metafora morta». In Ivi, p. 14 si aggiunge infatti che tali similitudini «diventano pericolose quando prendono il posto delle teorie», cioè «delle condizioni formali di un’intelaiatura teorica», e pertanto «cristallizzano un pensiero conservatore nel senso comune». Richiamandosi al pensiero dell’epistemologo francese Gaston Bachelard, gli autori contrappongono in maniera radicale la scienza al senso comune e accusano la non scientificità del concetto di programma genetico. In verità però non viene ignorato il potenziale euristico delle immagini metaforiche, il quale si scopre non appena si sia effettivamente davanti a quella che è «*soltanto una metafora*, nel vero senso di un’idea astratta che ispira i gesti e la curiosità dell’atteggiamento scientifico». LONGO *et al.*, *Is Information a Proper Observable* cit., p. 113 è a riguardo più dettagliato: «l’adozione della prospettiva di una teoria dell’informazione non è riuscita a procurare alla biologia un osservabile pertinente per capire e misurare l’organizzazione. Al contrario, i concetti legati all’informazione come codice, programma, segnale ecc. hanno ostacolato la comprensione sia della dinamica fisica sia dell’organizzazione biologica... Ogni metafora viva implica una tensione strutturale tra aree semantiche eterogenee. Le metafore passano (*phora*) da un universo di riferimento garantito a un altro che viene parzialmente creato o costruito da questa iniziale tensione. Possono rivelarsi utili alla conoscenza, ma hanno a che vedere con immaginazione e finzione. In tal senso creano sostituti per i loro equivalenti letterali... Quando le metafore sono state adoperate troppo spesso, muoiono...: si smette di essere consapevoli che l’uso metaforico delle parole non è quello letterale. Diventano forme illegittime di predicazione e di discorso». Il rimando è a un altro filosofo francese, Paul Ricœur, e a RICŒUR PAUL, *La métaphore vive*, Paris 1975 (trad. it. di Grampa Giuseppe, *La metafora viva. Dalla retorica alla poetica: per un linguaggio di rivelazione*, Milano 1983). In questa sede si può prescindere dal fatto che alle metafore sia negato un ruolo consistentemente teoretico, nella misura in cui rimane l’intuizione che quella del programma sia un’immagine sfruttata a metà tra il formale e l’informale o, forse si potrebbe dire, per le istanze teoriche formali che le sue caratteristiche informali permettono di conseguire.

preoccupazioni teoriche che così vengono salvaguardate non sono però sviluppate filosoficamente, all'interno di una concezione del vivente che aderirebbe meglio al reale perché la realtà di quello che è vivo appare essere cibernetica e colta da una dimensione informativa che le inerisce. Invece, appellarsi a nozioni informatiche e quindi incamerarle nella biologia trae il suo valore e anzi la sua giustificazione dalle caratteristiche e dall'efficacia *de facto* che esibiscono i prodotti derivanti dall'applicazione di queste scienze nel loro campo. Meccanismi di controllo, dispositivi elettronici e calcolatori sono corpi o aggregati di corpi materiali, dalla struttura complessa ma avvertiti come qualitativamente identici sotto questo aspetto a qualunque altro manufatto e, a ben guardare, a qualunque corpo materiale inanimato. Perciò, nonostante il comportamento che sono in grado di mostrare appaia sofisticato e i risultati che producono si possano paragonare a quelli conseguiti dall'azione e l'intelligenza umana, l'agenzia che si attribuisce loro evita di chiamare in causa istanze non strettamente naturali. Al tempo stesso la complessità comportamentale di simili macchine – evidentemente in risalto – dipende dal fatto che nella loro architettura è incorporata una dimensione informazionale che si serve delle sottostrutture meccaniche e le regola in ragione dei compiti a cui adempiono. Il meccanicismo fisico continua a essere un indirizzo concettuale importante nel tentativo di elaborare questo nuovo modello di macchina: se poi, in una prospettiva storica, alle sue origini in Era Moderna ignorava l'esistenza di congegni a componenti elettroniche e informatiche, la teoria delle comunicazioni ne compensa e integra il difetto. Un organismo vivente non è passibile di una descrizione rigorosamente meccanicistica tranne che se ne escludano e così perdano alcuni tratti che, distinguendolo da un mero marchingegno, lo rendono vivo. Il tono del principio di materialità che pervade la concezione dell'universo nella fisica meccanica moderna, sebbene possa assicurarle l'indipendenza da quanto è sovranaturale, sembra perciò antibiologico. La cibernetica salva la preoccupazione, generale in un paradigma di conoscenza scientifica naturale, che gli enti e i processi oggetto di investigazione siano accessibili da un punto di vista empirico perché appunto materialmente esistenti. Questo settore della scienza di recente formazione, quindi, promette di aggirare le insufficienze derivate da una riduzione fiscalista del vivente, in quanto studia e consente di costruire macchine e dispositivi informatici capaci di riprodurne la raffinatezza di comportamento. In aggiunta, altrettanto importante, nel lavorare sull'organizzazione che distingue in un manufatto del genere i rapporti gerarchici fra le sue parti e i meccanismi che

le controllano, tratta in una linea d'analisi senza dubbio scientifica una qualità immateriale e però palpabilmente biologica. Gli autori che introducono in biologia l'immaginario delle ricerche in cibernetica respingono un repertorio di idee e strumenti teorici che non si conformerebbero al metodo delle scienze naturali se non in modo problematico, giacché le teorie dette genericamente vitalistiche rimandano a una realtà insondabile per mezzo di esperimenti. Quella fenomenologia del vivente che sostiene il vitalismo è allora interpretata seguendo il lessico dell'informatica, che denota un insieme di macchine e meccanismi capaci di generare la stessa fenomenologia senza cedere il terreno a questioni teoretiche compromesse con un piano di esistenza giudicato sovrannaturale o non solidamente naturale. La nozione generale di informazione biologica sembra pertanto dotata di uno statuto ambivalente dal punto di vista metodologico, così come quella, più sottilmente determinata ma a essa connessa, di programma genetico, teleonomico e comportamentale. Per un verso il loro contenuto è mutuato e sostenuto dalla limpidezza concettuale che possiedono i corrispettivi enti teorici di scienze applicate, nel proprio ambito di ricerca¹⁰². Termine di riferimento ideale di questo nuovo vocabolario del vivente, la cibernetica non è però intesa estendersi quale è per i calcolatori e il loro funzionamento sino a comprendere gli organismi. Per un altro verso, quindi, il dominio dell'organico è singolare a sufficienza perché quelle della teoria delle comunicazioni non possano che dimostrarsi e venire sfruttate quali analogie, che nondimeno sole permettono di indicare e connotare fenomeni altrimenti muti a una biologia scientifica.

Si può dunque, a questa altezza del discorso, comparare in certi loro tratti essenziali ciò che è un programma informatico in un elaboratore elettronico e come operi, da un

¹⁰² Come argomentato da LONGO GIUSEPPE & TENDERO PIERRE-EMMANUEL, *The Differential Method and the Causal Incompleteness of Programming Theory in Molecular Biology*, *Foundations of Science* 12 2007, pp. 337-366, qui p. 338, «la Scienza dei Calcolatori è una scienza ben costruita, largamente fondata dagli approcci formali alla Logica Matematica e da essa originatasi in modo diretto, e, per ciò, possiede il suo proprio robusto impegno teorico (e filosofico)». Se ci sono ragioni per cui invece «la Biologia Molecolare non è una disciplina formalizzata», incamerare il repertorio di strumenti metodologici nati e raffinati dall'informatica nell'analisi del vivente diviene «il vizio concettuale di una cornice teorica (e filosofica) scorretta». Non soltanto in effetti «il paradigma della programmazione non riesce a catturare le *relazioni causali* che dovrebbero legare il genoma al fenotipo», ma «quando le sue nozioni vengono *proiettate* sul mondo della Natura, gli impongono una specifica *struttura causale*; in breve la metafora, e ancora più la modellizzazione, contengono una proposta di intelligibilità non neutrale (e un'implicita Filosofia della Natura)». Gli autori si addentrano quindi nei percorsi che seguono l'evoluzione storica delle scienze informatiche e i loro capisaldi teorici, da un versante, e in quelli che vedono l'emergere dei concetti della genetica sino alla Rivoluzione della Biologia Molecolare, dall'altro. Allo stesso tempo, però, la logica dei rispettivi domini di interesse è sottilmente approfondita e infine confrontata alla luce dell'immagine ibrida del programma genetico.

lato, e che cosa siano invece il genoma e i processi che lo interessano nelle cellule biologiche, dall'altro. Nel ponderare se, al di là di una semplice similitudine, sussistano aspetti coincidenti sotto il profilo ontologico, va comunque annotato che l'azione di rischiaramento concettuale è ritenuta importante unicamente in una direzione, cioè dalla cibernetica alle scienze della vita. Non sarebbero difatti macchine e meccanismi a scoprirsi vivi, organici oppure biologici, ma all'inverso sono gli organismi viventi a essere rappresentati quali una sorta di particolare o sofisticato apparato di strutture meccaniche e circuiti di controllo. Già in relazione a un calcolatore o altro dispositivo analogo, i programmi che qui sono installati, eseguendo comandi compatibili con le operazioni tecnicamente a portata del macchinario e di cui completano l'architettura, appaiono un tipo di oggetti caratteristico. Pur dipendenti da un supporto meccanico materiale che possiede proprietà ottiche ed elettrofisiche – per esempio dischi, processori o circuiti integrati, ma conta a ben guardare la struttura cosiddetta di *hardware* nella sua interezza –, questi che comunque sono artefatti umani risultano definiti piuttosto da altri termini. La loro natura corrisponde in ultimo a dati e istruzioni in codice numerico binario unidimensionale, nella cui logica sono scritti i processi di calcolo e sono conformate le componenti del dispositivo. Non si tratta insomma di circuiti stampati, fili o *microchips* né di schemi di propagazione elettrica controllata e predefinita, anche se è così che sono esperiti da un punto di vista grossolanamente fisico. I programmi sono in un'accezione importante *software*, ovvero componente immateriale, computativa e logica che indirizza, coordina e regola altri aspetti nel funzionamento della macchina, eventualmente mediando i comandi degli utenti. Non soltanto il processo di elaborazione si svolge propriamente a livello di attività – non è, cioè, una porzione strutturale del calcolatore in senso stretto –, ma, eseguito passaggio dopo passaggio, fornisce risultati che partecipano, proseguendola, alla computazione. Quando anche si dia un gruppo di funzionalità che implicano la loro azione diretta su componenti meccaniche, questa è appunto il risultato di un processo logico di per sé continuo con altri processi dello stesso genere. Si dimostra pertanto trascurabile il fatto che godano di qualche corrispettivo, veicolo oppure supporto fisico: in informatica e nella scienza dei calcolatori è fondamentale la distinzione di una parte materialmente tangibile e una computativa ossia di *hardware* e *software*. In una forma che si può considerare dicotomica o per così dire cartesiana, ne consegue la separabilità, metodologica prima che pratica, di un algoritmo di programmazione da componenti materiali, invero

necessaria e proficua. I programmi sono difatti intenzionalmente scritti e perfezionati in modo da poter essere eseguiti in una qualsiasi macchina compatibile, che logicamente sia in grado di leggerli, cioè si possono trasferire da un supporto e un ambiente informatico a un altro¹⁰³. Coerente con il dominio del *software* e con il loro ruolo nell'architettura di un elaboratore, il contrassegno ontologico dei prodotti di scienza e tecniche della programmazione risiede quindi, in generale, in una proprietà denominabile «iterazione» o «iterabilità identica». La sequenza di calcolo, a partire da certe condizioni di avvio e in osservanza a regole di prosecuzione internamente determinate, è e deve rimanere passibile di esser riprodotta senza variazioni, accidentali o meno che siano, perché è dall'esattezza del procedimento che discende la sua funzionalità. Le applicazioni pratiche delle scienze informatiche e delle comunicazioni dipendono dalla riuscita di tentativi e accorgimenti rivolti a sopprimere gli effetti del caso, degli errori o di una divergenza dal percorso logico che gli algoritmi ripetutamente sono intesi a offrire, quali schemi di risoluzione automatica di un problema o un compito. In tale prospettiva diviene essenziale che essi siano in grado di assicurare l'identità del procedimento di calcolo indipendentemente, in via preliminare, dalla fenomenologia fisica che gli corrisponde a livello di parti materiali della macchina, ma anche da un lato dal macchinario individuale su cui sono installati e dall'altro dal luogo e dal momento del comando. Indifferente alla materialità che gli soggiace e al contesto in cui si inserisce, in mezzo ad altri oggetti ed eventi, nondimeno in forza di queste caratteristiche l'attuazione di un programma tende a essere quasi perfetta quanto a determinazione: invariata e invariabile, è esatta e, garantendone la certezza, si presta a una previsione del risultato in modo altrettanto esatto. La sua iterabilità corrisponde in effetti al movimento automatico che appartiene alle trasformazioni logiche

¹⁰³ Non si intende, come già per il concetto di informazione, entrare in una analisi circostanziata e globale delle scienze informatiche e della categoria di enti o fenomeni che è loro riservata, ma bastino le osservazioni qui avanzate a tratteggiare le principali direttrici di una critica al programma come a una nuova nozione biologica. Curiosamente, visto che sono impiegati per assicurare il rispetto di un rigoroso materialismo empirista, nella teleonomia di Mayr i programmi cibernetici non contano quali oggetti o manufatti particolari – di cui si passino in rassegna le proprietà materiali fisiche e chimiche in grado di sostenerne le applicazioni –, perché invece il pregio esplicativo che possiedono giace in una dimensione eminentemente funzionale. Insomma, un'istruzione funziona e fa funzionare una macchina: è per questa ragione che i geni le vengono assimilati, pur non essendo immateriali come i comandi di un programma. Tuttavia in informatica vale il «radicale dualismo *software* vs. *hardware* della Macchina di Turing», «al centro di tutta la scienza dei calcolatori contemporanea», per cui «in altri termini l'informazione è un invariante in rapporto alle trasformazioni che concernono il mezzo fisico oppure la forma della codifica» (PERRET & LONGO, *Reductionist Perspectives* cit., p. 13). È LONGO & TENDERO, *The Differential Method* cit., p. 338 a definire così quella di Turing «una *macchina cartesiana*», «una realizzazione scientifica del dualismo anima/corpo».

scandite dai passaggi algoritmici, il quale a sua volta sostiene una ripetizione indefinita in numero e forma di un medesimo compito¹⁰⁴.

Quando, sulla scia di simili considerazioni, si arriva a esaminare il genoma allo scopo di un confronto, contrariamente a quello che percepiscono biologi molecolari ed evolucionisti nel proporre il concetto chiarificatore di programma genetico, appare stridente il contrasto con i prodotti delle tecniche di programmazione. I parametri distintivi che, pur nella generalità, sono stati così isolati e che sembrano appartenere a questi ultimi non si riconoscono in quelli che delineano natura, proprietà e ruoli di un gene o dell'insieme del patrimonio genetico, coinvolti nel fenomeno dell'ereditarietà e nella modulazione del metabolismo cellulare. Se non si danno identità dentro le forme ontologiche dei due oggetti in comparazione, al tempo stesso non è agevole parlare di veri e propri equivalenti, siccome ciò che è un algoritmo informatico e il suo ambiente epistemologico per le scienze dei calcolatori sono dipendenti da una porzione del reale distinta e peculiare rispetto a quella dei componenti materiali organici per la biologia. In più, la teorizzazione

¹⁰⁴ Seguendo LONGO & TENDERO, *The Differential Method* cit., pp. 338-339, l'iterazione identica è come il fulcro di un insieme di caratteristiche che denotano la specialità dei programmi in un calcolatore digitale. «L'iterazione perfetta è al centro del computo: la ricorsività primitiva, descrizione matematica del suo aspetto più importante, è *iterazione più aggiornamento di un registro* (non è necessario altro). Perciò, mediante la distinzione *software/hardware* e l'iterabilità identica, si ottiene la *portabilità* del *software*: senza di essa, la Scienza dei Calcolatori come scienza... non esisterebbe». Precisa PERRET & LONGO, *Reductionist Perspectives* cit., p. 13 che «nello specifico, se la macchina sta morendo a causa dell'età del materiale, si può trasferire via cavo o *wi-fi* il sistema operativo, i compilatori, tutti i programmi su un'altra macchina». Dunque, in primo luogo sta la completa indipendenza della logica di calcolo da controparti o sostegni meccanici: ancora LONGO & TENDERO, *The Differential Method* cit., p. 345 ricorda che «la teoria della programmazione è stata... creata *in abstracto* al di fuori dal mondo, come teoria della computabilità, a partire dalle macchine matematiche di Turing (le quali non necessitano di un contesto *fisico*...)» e che anzi «di solito si fa riferimento alla struttura fisica dei calcolatori solo per spiegare disfunzioni e non il comportamento giudicato 'normale'». Ne deriva la portabilità del programma, indifferente all'ambiente di *hardware* su cui opera. Poi, stanno il determinismo e la prevedibilità dei processi di calcolo, *à la* LaPlace, che entrambi gli articoli riportano espressamente citato da un lato da Turing e dall'altro da Schrödinger (si rimanda a TURING ALAN M., *Computing Machinery and Intelligence*, *Mind* 59.236 1950, pp. 433-460 e al già nominato SCHRÖDINGER, *What Is Life?* cit.). In particolare, nota PERRET & LONGO, *Reductionist Perspectives* cit., p. 12, «in questa cornice del discreto – che è un concetto preciso in matematica – soltanto la dinamica delle parti discrete è rilevante per la spiegazione dell'intero sistema», ma «sarebbe davvero difficile integrare come contributo *positivo* all'espressione di informazione altri eventi come la torsione, la pressione..., la dinamica di contatto, le geometrie e le relative distanze, che tutte quante contribuiscono causalmente all'espressione genetica». La matematica su cui poggiano i vari rami della teoria dell'informazione non è cioè una matematica del continuo per la quale, argomenta LONGO & TENDERO, *The Differential Method* cit., p. 339 sulla scia di Turing, «l'imprevedibilità in sistemi non lineari è una proprietà *teorica* chiave». Infine, sta l'esattezza nello svolgimento delle operazioni e nella produzione del risultato: «la programmazione, sia sequenziale o concorrente, è intesa a questo scopo: la regola *deve* dominare, senza eccezione. E se l'eccezione compare, se l'interazione nel tempo e spazio di una rete – non prevista da Turing – può in rari casi essere di qualche intralcio, una scienza dei processi concorrenti viene istituita per evitarlo, per contenerlo... Esattezza e iterazione: la regola dirige il calcolo... *Il caso non esiste nella computabilità*» (Ivi, pp. 352-353).

informatica e cibernetica è asservita a istanze, obiettivi e utili applicativi che non coincidono almeno in parte necessariamente con quelli dei naturalisti: malgrado la contaminazione interdisciplinare sia possibile se non in verità produttiva, è una posizione radicale per entrambi i campi di ricerca ambire alla fusione in un'unica scienza, dal momento che i loro oggetti sarebbero gli stessi. Anche se un esito del genere è evidentemente estraneo al pensiero biologico, l'immagine del programma incorporata in una descrizione del vivente rende lecito supporre che quanto viene presentato accomunare le due tipologie di fenomeno valga come dire in principio. Sembra che gli autori in questione si limitino a pretendere, attraverso il ricorso alla teoria dell'informazione, una piena scientificità nella trattazione di oggetti per il resto biologici, che non è da demandare ad altro che alla biologia, eppure la chiave di volta è quella dell'analogia in qualche maniera consistente con i processi informatici. A differenza di programmi, algoritmi e in generale del *software* in un elaboratore, tuttavia, gli acidi nucleici appartengono in un senso pieno alla materialità delle strutture costituenti le cellule e l'organizzazione del vivente: la fenomenologia di queste molecole, a seconda del contesto o dello stadio di avanzamento del ciclo cellulare, si dispiega in una molteplicità di forme. Per quanto sia dubbio che gli schemi concettuali e l'apparato epistemologico della meccanica e della chimica esauriscano la realtà della genetica, non viene meno l'evidenza che i geni siano aggregati materiali esistenti da un punto di vista fisico e chimico. Filamenti di acido desossiribonucleico si estendono e si piegano su se stessi conformandosi in modo particolare in relazione a numero, verso e tipo di torsioni, il loro avvolgimento sostenuto e coadiuvato da strutture proteiche di diverse specie, come gli istoni e alcuni enzimi, e accompagnato dalla presenza di acido ribonucleico. Queste masse sono comprese in agglomerati di sviluppo ora prevalentemente lineare e ora fibroso, che distinguono i differenti stati di condensazione della cromatina cellulare. Nucleosomi, fili a collana di perle, fibre da trenta nanometri, cromosomi sciolti interfascici e cromosomi metafascici rappresentano segmenti del repertorio morfologico, vario per grandezza, configurazione spaziale e ruoli fisiologici, che emerge dalle proprietà e dall'azione del genoma in senso lato¹⁰⁵. Anche in virtù di una simile continuità

¹⁰⁵ Parimenti, nella natura e nella specificità degli enti e dei processi che le interessano, anche una genetica descrittiva è al di fuori della portata di questa argomentazione. Già concentrandosi su pochi aspetti – accessibili cioè senza un approfondimento consistente della materia –, pure è possibile spingere in superficie le basi di una critica all'uso della nozione di gene. I geni contano difatti come garanti del materialismo al cui interno si sviluppano la teoria e le osservazioni del vivente, nella fattispecie per quanto riguarda il fenomeno della teleologia biologica. Tuttavia, appunto la loro caratteristica materialità sembra essere

materiale con il resto della citologia, i geni sono una componente mereologicamente equiparabile ad altri elementi e strutture dell'organismo, vuoi unicellulare vuoi multicellulare. Sotto questo aspetto della loro ontologia, non li si può riconoscere precedenti a forme di aggregazione dello stesso materiale ereditario o, appunto, ad apparati dell'architettura cellulare via via superiori, di cui sono parte. Dove invece contribuiscono ad assolvere a funzioni biologiche relativamente importanti e a risaltare sia il portato funzionale o se si vuole informazionale, ciò rientra in un piano di descrizione alternativo a quello che comprende i geni quali regioni cromosomiche, cioè segmenti locali e circoscritti di corpuscoli che si aggiungono alla composizione materiale di un organismo. Non è meno problematico, in ogni modo, che la loro centralità nelle meccaniche di sintesi delle sostanze chimiche necessarie a far sopravvivere, crescere o riprodurre una cellula sia intesa a concepirla come una sorta di carattere fenotipico preformato, capace di ordinare il suo passivo esplicarsi a partire da una sorgente causale chiusa e sufficiente a se stessa. La funzionalità della cromatina, nei suoi distinti stati di espressione, emerge in effetti dalla compresenza di strutture cellulari e dall'interazione multidirezionale di processi metabolici anche non genetici. Non soltanto è all'interno di un ricco e più esteso dominio qual è quello della cellula – e grazie a esso – che i cromosomi sono protetti, modellati e riparati, ma lo stesso codice genetico svela il suo ruolo funzionale unicamente nei termini di questa citologia, da cui il codice viene interpretato e usato. In altre parole, il cromosoma e i suoi costituenti

oscurata, sia davanti alla funzione che assolvono sotto il profilo metabolico, ereditario ed evolutivo sia davanti allo statuto eminentemente formale che vantano come concetto teorico. LONGO & TENDERO, *The Differential Method* cit., pp. 340-352 esamina la tenuta del «gene biomolecolare» premettendo alcuni stadi concettuali importanti, vale a dire quello di «una ipotetica unità funzionale di ricombinazione» (à la Mendel) e quello di «un'unità strutturale di mutazione» (à la Morgan), congiunti infine nel Dogma Centrale di Crick e Watson, che formula «l'esistenza di una relazione causale diretta tra geni e proteine». Una decostruzione in termini storici riconsegna pertanto il ruolo teorico, ipotetico e operativo di quella che sembra una realtà sperimentale che debba solo essere constatata, mentre «pare addirittura praticabile che queste tre successive determinazioni della nozione di gene non si riferiscano a entità e/o processi identici». PERRET & LONGO, *Reductionist Perspectives* cit., p. 13 si chiede allora, «abbiamo altro modo di codificare questa 'informazione genetica' che non mediante il DNA e RNA? ci sono altre forme di trasmissione ed elaborazione di questa 'informazione', diversamente che non le reazioni a catena molecolari *specifiche* attive dentro la cellula?». «Esiste solamente la materialità fisico-chimica di DNA e RNA con i loro ruoli veramente specifici nei fenomeni biologici», quella che appartiene a una generale «tridimensionalità degli organismi» dal punto di vista fisico: si veda perciò anche LONGO *et al.*, *Is Information a Proper Observable* cit., pp. 112-113. Riguardo agli esempi, è significativo che invero si possano disporre in una simile sequenza regolare solo per certe cellule eucarioti, la fenomenologia delle forme di aggregazione degli acidi nucleici essendo ancora più varia: il nucleosoma è una subunità primaria per l'avvolgimento della molecola di DNA, che è sostenuto dagli istoni; sono i nucleosomi le perle della cosiddetta collana, distanziati da porzioni di acido nucleico filiforme; le fibre derivano invece da una ulteriore condensazione di queste strutture, i nucleosomi della collana avvolti in maniera coesa; infine, se durante la maggior parte del ciclo vitale di una cellula – l'interfase – i cromosomi si presentano fibrosi e lineari, in corrispondenza della divisione cellulare – la metafase – essi si raggruppano in bastoncelli.

servono, come gli eventi fisiologici a cui sono soggetti, le esigenze dell'organizzazione di un individuo vivente nella sua interezza, non importa quanto significative si dimostrino le loro particolari proprietà. Nella misura in cui, pertanto, al genoma appartiene anche una dimensione informazionale, nondimeno il legame che la stringe ai caratteri della sua composizione e forma materiale non è catturato da un rapporto dicotomico come quello di un *hardware* subalterno al *software* nell'ingegneria dei calcolatori. Un programma genetico non potrebbe venire ontologicamente separato dalla chimica degli acidi nucleici né dalla fisiologia cellulare e, se così fosse, si ha a che vedere con un'astrazione piuttosto che con un dato specificamente biologico. L'ambiente cellulare, esterno e complementare a quello dove sono dislocati i cromosomi, oltre a non ridursi a un semplice fondale, soprattutto non è indifferente né inattivo dal punto di vista metabolico rispetto alla conservazione e allo sfruttamento delle informazioni genetiche¹⁰⁶. Contro l'iterazione identica

¹⁰⁶ Tende a cogliere simili suggestioni e ad articularle in una cornice ampia e unitaria la prospettiva della cosiddetta biologia teorica organizzativa, concentrata appunto sulla nozione di organizzazione. Opera monografica di riferimento è MORENO ALVARO & MOSSIO MATTEO, *Biological Autonomy: A Philosophical and Theoretical Inquiry*, Dordrecht 2015, ma il gruppo di ricerca di Alvaro Moreno e colleghi si riallaccia a una corrente, interna alla filosofia delle scienze biologiche, che si può ancorare all'«autopoiesi» discussa a partire dagli anni 1970. RUIZ-MIRAZO KEPA, ETXEBERRIA ARANTZA, MORENO ALVARO & IBÁÑEZ JESÚS, *Organisms and Their Place in Biology, Theory in Biosciences* 119.3/4 2000, pp. 209-233, qui pp. 214-218, per esempio, isola «organizzazione» e «autonomia» tra le quattro principali proprietà, strettamente intrecciate, che esibiscono gli organismi viventi oltre a quelle dell'individualità e della riproduzione. A partire da «una forte intuizione di un organismo quale entità organizzata in cui le parti contribuiscono alla realizzazione del tutto», il carattere organizzativo del vivente è appoggiato da un lato all'esistenza di un numero di aspetti strutturali e dinamici subordinati e dall'altro lato alla peculiarità delle interazioni che li riguardano gli uni verso gli altri e insieme verso l'organizzazione generale. Infatti, «definire le componenti di un organismo esige il riferimento al ruolo che giocano nel suo mantenimento o funzionamento e, viceversa, un organismo non può venire pienamente compreso eccetto che nei termini dei suoi più importanti costituenti e dei processi che attraversano». Come già Kant suggeriva descrivendo una «teleologia interna», «mentre l'orologio è formato da componenti fisse, fabbricate in anticipo e poi assemblate, nell'organismo le parti sono formate per le altre e dalle altre, siccome alcune parti producono le altre» e in tale senso «l'azione (cioè il processo dinamico in atto) porta all'identità (cioè la costituzione sia delle parti sia del tutto) a un livello fondamentale». Contrappunto di una caratteristica così descritta, l'autonomia di un organismo vivente è invece espressa dall'esercizio di uno o più vincoli attivi, risultanti dall'organizzazione interna di strutture e processi, che a un tempo divergono in modo spontaneo dalle azioni dell'ambiente e da ciò permettono di ricavarne risorse materiali o energetiche per rinsaldare i vincoli organizzativi che sostengono questa stessa dinamica. RUIZ-MIRAZO KEPA, PERETÓ JULI & MORENO ALVARO, *A Universal Definition of Life: Autonomy and Open-Ended Evolution, Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 34.3 2004, pp. 323-346, qui pp. 330-337 approfondisce la sua definizione intendendo per autonomo «un sistema lontano dall'equilibrio che si costruisce e mantiene istituendo una propria identità organizzativa, un'unità (omeostatica e attiva) integrata funzionalmente e basata su un insieme di accoppiamenti endergonici-esergonici fra processi interni di autocostruzione, oltre che con altri processi di interazione con il suo ambiente». Da un punto di vista genealogico, una condizione di «autonomia basilare» dovrebbe emergere da «fenomeni di autoorganizzazione (fenomeni fisico-chimici complessi come le cosiddette “strutture dissipative”...), quindi sistemi di «automantenimento» e infine «reti chimiche di automantenimento». A sua volta poi, sistemi autonomi minimi pongono le basi dell'ereditarietà mediante la «disgiunzione genotipo-fenotipo», iniziando e dando forma a una «evoluzione aperta» (*open-ended evolution*) così come è darwinianamente nota. Se nella caratterizzazione del vivente sono altrettanto importanti gli aspetti riproduttivi e *in extremis*

che distingue la logica dei processi algoritmici nei programmi, il genoma è poi incessantemente segnato da quella instabilità relativa che appartiene invero a ogni componente organica e a ogni organismo. Nell'arco di sviluppo dell'ontogenesi o in quelli temporalmente estesi dell'evoluzione, le strutture che costituiscono i viventi si alterano complicandosi o degenerando, sino a delineare uno spettro di funzionalità differente che non ne esclude il sorgere di nuove o il perdersi di preesistenti. In generale, variare appare una sorta di stato inerziale della biologia¹⁰⁷, dal momento che sarebbe arduo non rappresentare

evolutivi, l'intento è quello di emancipare l'autonomia dal modello dell'autopoiesi dei biologi cileni Humberto Maturana e Francisco Varela, che ne rappresenta in qualche modo l'ispirazione e il precursore ma che è «eccessivamente astratta» (Ivi, pp. 328-330). Qui la vita corrisponderebbe alla «“logica organizzativa minima” dei sistemi biologici in cui la fisica e la chimica (la termodinamica in particolare) non hanno niente da dire e in cui la relazione interattivo-agenziale tra sistema e ambiente non viene considerata (o, quantomeno, viene considerata secondaria)». Peraltro, un sistema del genere «non è capace di iniziare un processo di evoluzione darwiniana perché, così come è fatto, non possiede i meccanismi genetici richiesti per farlo». Si rimanda in ogni modo agli originali MATURANA HUMBERTO R. & VARELA FRANCISCO J., *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*, Santiago 1973 e VARELA FRANCISCO J., MATURANA HUMBERTO R. & URIBE RICARDO B., *Autopoiesis: The Organization of Living Systems, Its Characterization and a Model*, *Biosystems* 5.4 1974, pp. 187-196, oltre che a MATURANA HUMBERTO R., *The Organization of the Living: A Theory of the Living Organization*, *International Journal of Man-Machine Studies* 7.3 1975, pp. 313-332.

¹⁰⁷ Coerenti con i temi della biologia organizzazionale, alcuni autori insistono per fornire una rappresentazione del vivente che integri la prospettiva evuzionistica a quella che appunto l'evoluzionismo avrebbe lasciato largamente ignorata e che mira invece a una «Teoria degli Organismi». LONGO GIUSEPPE, MONTÉVIL MAËL, SONNENSCHN CARLOS & SOTO ANA M., *In Search of Principles for a Theory of Organisms*, *Journal of Biosciences* 40.5 2015, pp. 955-968 discute a fondo degli aspetti teorici più rilevanti che contrassegnerebbero la fisica speciale emergente con le proprietà del biologico e la loro azione negli organismi individuali. Sono proposti «due principi fondamentali» di questa nuova teorizzazione: lo «stato predefinito delle cellule, ossia *proliferazione con variazione e motilità*» e il «principio strutturale di iterazioni non identiche di un processo morfogenetico». Uno «stato predefinito» – *default state*, preso a prestito dal vocabolario della programmazione, ma qui meramente metaforico – è quello in cui versano sia gli organismi unicellulari sia le cellule degli organismi multicellulari quando niente interviene a ostacolarne uno sviluppo libero. Come i corpi seguono il principio d'inerzia nella meccanica classica, le cellule tendono cioè spontaneamente a moltiplicarsi, variando e muovendosi in maniera attiva nell'ambiente, a meno che non siano in atto cause nel verso contrario: condizione ideale e al limite, non esige spiegazione in virtù della sua natura assiomatica, ma è nondimeno suscettibile di osservazione. A differenza che la quantità di moto in fisica, significativamente, la proliferazione accompagnata a variazione e motilità non risulta in un invariante e nella conservazione di una simmetria bensì in cambiamenti di simmetria. La «morfogenesi biologica», che quindi appare riassumere la cifra caratteristica del vivente in generale, si sostiene sulle meccaniche che consentono all'organizzazione del sistema di conservare le strutture e le funzioni necessarie al proprio mantenimento. Però, in strutture e sottostrutture sono ingenerate variazioni che i processi che sovrintendono a ripristinarle e renderle utili, anch'essi intrinsecamente instabili, proteggono e anzi amplificano, cosicché negli eventi che costellano l'ontogenesi gli schemi di sviluppo morfogenetico si ripresentano eppure mai in modo esattamente identico. Questo quadro concettuale e il più ampio progetto teorico a cui assolve sono approfonditi nei due articoli correlati MOSSIO MATTEO, MONTÉVIL MAËL & LONGO GIUSEPPE, *Theoretical Principles for Biology: Organization*, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 24-35 e MONTÉVIL MAËL, MOSSIO MATTEO, POCHVILLE ARNAUD & LONGO GIUSEPPE, *Theoretical Principles for Biology: Variation*, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 36-50, oltre che in SOTO ANA M., LONGO GIUSEPPE, MONTÉVIL MAËL & SONNENSCHN CARLOS, *The Biological Default State of Cell Proliferation with Variation and Motility, a Fundamental Principle for a Theory of Organisms*, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 16-23.

ciò che è vivo come di per se stesso soggetto al cambiamento, suo promotore e fruitore, dimostrandosi piuttosto la quiescenza un caso speciale che richiede di venire inquadrato e spiegato *ad hoc*. Questa caratteristica di dinamicità intrinseca si svolge sia in una direttrice orizzontale – spaziale –, intrecciandosi con la contestualità che possiedono oggetti ed eventi biologici, sia in una verticale – temporale –, che individua la loro storicità, e lontana dall'essere quasi rumore di disturbo si rivela un aspetto essenziale del modo di definirli. Difatti, le variazioni che spontaneamente sono generate e rigenerate nell'esplinarsi dei fenomeni del vivente consentono, in positivo, di sfruttare in maniera diversa le risorse e le possibilità che il mutare delle circostanze ecologiche lascia a disposizione o sottrae alla vita. L'adattamento, che un organismo è in grado di esibire nelle fattezze di una flessibilità morfogenetica e comportamentale individuale, dipende dal sussistere di una simile condizione di mutevolezza, che può essere peraltro ulteriormente imbrigliata per accrescere la capacità di una popolazione o una specie di rispondere adattativamente a un ambiente a sua volta mutevole. All'interno del dominio della variabilità biologica *lato sensu*, la variabilità genetica è dunque intessuta dello stesso carattere casuale e spontaneo che inerisce alla descrizione di ogni nuova variante a emergere: le basi per la manifestazione di una molteplicità di forme sono anche il suolo su cui è radicata la loro singolarità. Se in biologia si dà un genere di regolarità naturale, questi schemi di ripetizione, nei tratti che contraddistinguono oggetti e accadimenti in un modo o in un altro, sono invarianti che non condividono la definizione degli algoritmi nei programmi informatici. Un processo organico non si svolge infatti in una sequenza di passaggi nettamente discreti, ciascuno in ragione di un risultato esatto a partire da cui consegue logicamente il successivo, e quando ripetuto la sua riproposizione fa affiorare, includendole, un numero di variazioni che lo fanno divergere dalla fenomenologia che ha alle spalle e che lo ha originato. Insomma, senza essere aleatori, i cambiamenti in cui possono incorrere un organismo o una sua parte componente nello sviluppo individuale o nell'evoluzione, pur rimanendo regolari sotto alcuni aspetti salienti, nondimeno non si prestano a una determinazione che non lasci residui importanti di contingenza e, perciò, di imprevedibilità¹⁰⁸.

¹⁰⁸ La «storicità» – o «istoresi» – appare il tratto distintivo solo di certe regioni del reale, fra cui la biologia ne rappresenta un caso rilevante: differentemente che in una descrizione meccanica della natura, non si può escludere la dimensione storica e, in particolare, delle contingenze storiche che appartiene al vivente. Un «organicismo», nelle varie sfaccettature che è in grado di assumere all'interno di teorie biologiche e biofilosofiche, guarda tuttavia agli organismi come al cardine e all'ente primitivo delle scienze della vita, riducendo a marginale o addirittura ininfluenza il dato dell'evoluzione, che pure sarebbe al centro della prima e

3.2 *Pars destruens*: agenti e azione nei programmi teleonomici

Anche lasciando in disparte gli aspetti che indeboliscono la nozione di informazione biologica, quando questa venga usata per plasmare un nuovo ambito di ricerca e fa dei geni il perno di una garanzia di scientificità, i programmi teleonomici – genetici o meno che siano – sono percorsi da fratture logiche interne e profonde. Così come si può dire che Mayr li ha descritti, in una generalità almeno in parte astratta dalle intuizioni degli esordi e da critiche e rimaneggiamenti della fase tardiva del suo pensiero, non sono semplicemente esposti al problema di un riferimento impreciso e pure entusiastico all'apparato concettuale della scienza delle comunicazioni. Che poi, più nello specifico, il modello del calcolatore elettronico e la sua architettura forniscano a quell'oggetto che è il programma caratteri di una tipologia difforme da quella che distingue la cromatina cellulare – per natura, azione e funzioni –, ancora non individua la criticità che caratterizza i processi teleonomici per così dire dal di dentro. Pur essendo stato delineato quanto nella loro rappresentazione risulti problematico già in come vengono introdotti nella biologia teorica, è possibile spingere un simile approfondimento critico oltre la sfera prevalentemente descrittiva. Concentrandosi su due elementi che sono parte essenziale del dispiegarsi della teleonomia, si fa avanti anzitutto la questione circa la sua processualità, se e in che termini azioni, comportamenti o dinamiche governate da programmi esprimano propriamente uno stato di attività, quale ne sia la sorgente e quale la portata. In specie, è incerto il ruolo che, in relazione a questa eventuale istanza di agenzia, sia giocato appunto dal concetto di programma. Dunque, non meno importante, ci si può domandare se il fine verso cui si dirige un comportamento soggetto a un controllo cibernetico sia fine *stricto sensu* o, secondo una formulazione alternativa, che tipo di finalità, di quasi finalità oppure di apparente finalità dimostri il punto di attrazione terminale in questi processi. Ancora, ciò rimanda a come caratterizzare teleologicamente lo scopo che è predefinito o preordinato nelle istruzioni contenute da un programma. I due nodi concettuali si presentano come stretti il primo, si potrebbe dire archeologicamente, attorno al movimento

generale concezione scientifica del vivente. In questo secondo aspetto, radicale, il modello dell'autopoiesi è appunto esempio di organicismo storico. Nondimeno, la nozione di istoresi è largamente sfruttata nella teoria dei sistemi – Bertalanffy, nella *Teoria generale dei sistemi*, ne parla – e non mancano tentativi, che si dicono consapevoli di certe lacune organicistiche, di integrare la temporalità, a livello ontogenetico e filogenetico, dentro una biologia organizzativa. Significativi in tale senso sono MONTÉVIL *et al.*, Variation cit. e MONTÉVIL MAËL, Historicity at the Heart of Biology, *Theory in Biosciences* 141.2 2022, pp. 165-173.

emergente dal comportamento teleonomico e il secondo, teleologicamente, allo stato di cose che del movimento si delinea come meta. Da una parte, sta la sua carica di azione o attività in senso positivo e, quindi, il processo esperito dal suo originarsi o nel perdurare: il fuoco dell'analisi è sulla generazione e propulsione del movimento. Dall'altra invece, risalta la specialità che contrassegna la sua fine e, cioè, il processo nel suo orientarsi verso una conclusione e a partire da questa: qui il movimento appare convergere verso un esito in qualche misura attrattivo comparato con altri¹⁰⁹.

Per quanto concerne il portato di attività dei comportamenti teleonomici, questa, sebbene rimarcata nel contrasto con i processi che sono passivamente incanalati da leggi naturali come quelle della fisica, viene spesso sfruttata in maniera ambigua e perciò ne risulta oscurata. Un masso che scenda rotolando per un pendio a causa del suo peso documenta l'azione di forze fisiche, come la gravità o l'attrito, ma non è data una sorgente di movimento spontanea e interna al corpo. Se così si presenta un caso esemplare dei comportamenti teleomatici, è perché semmai sono appunto le forze quelle a cui si può ascrivere l'efficacia causale che, esercitata sugli oggetti a certe condizioni e secondo certe misure, delinea il fenomeno. Ogniqualvolta si ripropongano stati di cose conformi alle prescrizioni di una legge, i corpi non sono in grado che di rispondervi e di allinearvisi e si dimostrano così sottoposti all'azione di forze a loro esterne, sino a che rientrano nei limiti che ne definiscono l'estensione. Viceversa, una preda in fuga o un embrione in fase di segmentazione appaiono in un senso pieno attivi, una nel dispiegare i mezzi anatomici e comportamentali che le consentono di rilevare, evitare e respingere le minacce e l'altro nel promuovere e coordinare i processi che conducono al suo sviluppo di stadio in stadio. Tuttavia, quando il loro comportamento è riportato all'esecuzione di un programma, le azioni che compiono dividono il proprio punto di riferimento fra i geni, cioè il programma in sé e per sé, e i movimenti che delle istruzioni genetiche costituiscono l'esplicitazione. A ben guardare, infatti, nel modello del programma teleonomico queste sono due sotto-componenti distinte ma compresenti e sovrapposte, giacché il movimento non è il gene o

¹⁰⁹ Sebbene Mayr non li enunci precisamente secondo questi schemi, sembra lecito e ben giustificato ricostruire così l'articolazione dei punti teorici più delicati del concetto di teleonomia. Il tema dell'azione o dell'attività è essenziale nella definizione e nella discriminazione dei comportamenti dai sistemi e, nel dettaglio, dei comportamenti teleomatici passivi da quelli teleonomici attivi. Si ricordi, quindi, come gli stessi contributi della cibernetica siano stati corretti *ad hoc* per rimettere alla direzionalità il suo potenziale di innesco e generazione dell'impulso teleonomico. Quanto agli scopi, comunque concepiti, «goal-directedness» – termine tecnico della finalità teleonomica – porta già sulla sua struttura lessicale la compresenza della meta e del movimento attivo che è orientato a raggiungerla.

il complesso di geni interagenti responsabili di stimolarlo, a prescindere da quanto stretta e necessaria sia la relazione che li lega al fenotipo. Nondimeno il processo e il genotipo che lo determina non sembrano equivalenti sotto il profilo agenziale: una sequenza di eventi, dinamica, non si contraddistinguerebbe quale teleonomica se non rappresentasse il risultato di un comando che, scaturito dall'azione del genoma, ne predispone l'avvio, ne controlla lo svolgimento e la porta a un certo esito. In altri termini, se il processo nel suo insieme esibisce uno stato di attività, tale è in ragione del sussistere del programma, rispetto a cui il movimento programmato sta in una posizione di dipendenza e subalternità. Nel conferire attività a un comportamento e quindi nel porre in essere *in toto* un comportamento teleonomico, il programma tende ad assorbire e ridurre a sé la sua realtà, dal momento che un processo sarebbe meramente meccanico se non fosse guidato da un'istruzione. D'altro canto, però, è comunque assicurata un'istanza di meccanicismo, secondo la quale l'espressione di un'azione in natura non si può far risalire a una fonte agenziale che sconfini in un dominio empiricamente insidioso come quello dell'interiorità. In un paradigma di scienza naturale meccanicisticamente connotato, volontà, intenzione, soggettività e mente fuoriescono dal campo della materialità corporea rigorosa e, per così dire, prestano il fianco all'ingresso di una psicologia dai toni metafisici. Spesso, perciò, in un gioco di sfumature sottile ma degno di nota, il movimento diretto da un programma è inteso come attivo solo e semplicemente finché è il programma a sorreggerlo: vale a dire, la sua 'vivacità' dinamica è in effetti una passiva, meccanica e virtualmente immediata esplicitazione dell'agenzia delle istruzioni genetiche o somatiche, complesse o meno che siano. In un certo senso, il processo teleonomico in se stesso è azione epifenomenica – il fantasma evanescente di un'azione –, essendo il suo programma a fornirgli l'innesco, il sostegno, eventualmente i correttivi e infine l'approdo che lo rendono la manifestazione di un'attività. Grazie a una impostazione di questo genere, come i comportamenti complessi che un elaboratore è in grado di eseguire sono derivati esclusivamente dal fatto che sono stati programmati e dunque non serve chiamare in causa a spiegarli un'intenzionalità o una mente del macchinario, allo stesso modo si scioglie il rischio antinaturalistico in biologia. Un animale in fuga, intento ad accoppiarsi oppure impegnato in una migrazione esprime un simile comportamento solo perché è costitutivamente programmato per farlo, senza che sia necessario riconoscergli una qualche soggettività o, più in particolare, un'autonomia agenziale. Quanto all'ontogenesi invece, se

un embrione si incanala verso una serie ordinata di processi, osservando il ciclo delle fasi di sviluppo, regolarità e coordinazione non sono dovute a una ignota forza vitale o un'entelechia, ma sono soltanto il risultato dell'attuazione di un programma. Del movimento si predica insomma, propriamente, svolgimento o dispiegamento, mentre ad agire in positivo nei fenomeni in cui è coinvolto il teleonomico sono le istruzioni incorporate nella genetica di un organismo. Queste stesse istruzioni, pure, non sembra che si riescano a inquadrare bene all'interno di un orizzonte di agenzia, poiché qualificarle con il titolo di agenti le impregnerebbe di una consistenza individuale, soggettiva o normativa¹¹⁰ mentre limitarsi a dirle attive in ultimo smorza il principio di attività che emerge così chiaro dal confronto con i processi teleomatici. Nel primo caso, se un programma apparisse un agente in senso stretto, su di esso si scarica ciò che di compromettente si era scorto nel dominio del biologico alla luce di un modello rigoroso di scienza naturale, che appunto il concetto di programma genetico avrebbe dovuto aggirare e risolvere. Difatti è in ragione di una forza, intenzione o mente – cui si sarebbe portati, in modo non scientifico, a circoscrivere e appoggiare la loro agenzia – che sembravano problematici il comportamento animale e ogni evento che coinvolge il vivente, nel suo tentativo di sopravvivere e sfruttare le risorse ambientali a proprio vantaggio. Oltre a ripresentare il problema al livello di una componente subordinata all'organismo, dove già si era considerato malposto, il suo superamento nega l'evidenza almeno in prima battuta solida che l'agire di un individuo biologico sia un vero e proprio esempio di azione. Il carattere paradossale di una simile soluzione dipende da che invece il genoma, le interazioni intragenomiche o i singoli geni sarebbero al contrario agenti di pieno diritto, nonostante che – per determinanti che siano le loro proprietà e il contributo causale allo sviluppo di un fenomeno – non agiscano in nessun senso ristretto della parola. *E converso*, proseguendo l'analisi, l'istanza di azione

¹¹⁰ Ai gruppi di ricerca che si occupano di biologia organizzativa rimandano anche lavori circa l'agenzia: BARANDIARAN XABIER E., DI PAOLO EZEQUIEL A. & ROHDE MARIEKE, Defining Agency: Individuality, Normativity, Asymmetry, and Spatio-Temporality in Action, *Adaptive Behavior* 17.5 2009, pp. 367-386, per esempio, pur collocando le proprie argomentazioni dentro il dibattito che concerne la robotica e la vita artificiale, mira a procurare della capacità di agire e far insorgere azione una caratterizzazione al tempo stesso trasversale agli ambiti disciplinari di varie scienze e coerente con le specificità di ciascuna. All'agenzia biologica, pertanto, viene riservato un momento di approfondimento particolarmente esteso, dimostrandosi le proprietà che denotano la vita nei viventi quelle che permettono loro anche di essere agenti. In ogni modo, «individualità», «asimmetria interazionale» nei riguardi dell'ambiente e «normatività», oltre a una relazione *sui generis* con il tempo e lo spazio, sono i caratteri che devono distinguere l'agenzia indipendentemente dalle sue realizzazioni biologiche. DI PAOLO EZEQUIEL A., Autopoiesis, Adaptivity, Teleology, Agency, *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 4.4 2005, pp. 429-452 si concentra invece su questo tema insieme agli altri che sono richiesti per una precisa caratterizzazione del vivente.

che contrassegna la teleonomia esce ridimensionata o all'estremo in parte spenta, se i cromosomi e le istruzioni che veicolano sono intesi agire nella misura in cui, propriamente, risultano reattivi dal punto di vista chimico. Che l'esecuzione del programma teleonomico non debba corrispondere a una sorta di omuncolo che agisce nelle vesti di un gene è forse imposto in via preliminare dalle premesse e dalla sensibilità teoretica globale con le quali si va esaminando la questione. In ogni modo, però, qualunque altra forma di agenzia a cui ricondurre lo stato attivo del processo sorvegliato da un programma sembra sia avvertita chiamare in causa questo stesso modello antropomorfo, perché dapprincipio i fenomeni di una teleologia prescientifica sono stati ritenuti così connotati. Di più, sotto una luce significativamente diversa, in alcuni passaggi gesti, azioni e comportamenti non sono giudicati difficilmente suscettibili di trattazione in quanto tipici degli uomini e dell'agenzia umana – si potrebbe precisare, frutto di una volontà, una consapevolezza o una ragione assenti o inferiori nelle altre specie viventi –, ma di per sé in quanto azioni. Quando sono stati introdotti i concetti della cibernetica e per loro tramite si vanta una caratterizzazione scientifica migliore di comportamenti apparentemente intenzionali, in effetti è perché questa espressione di attività è circondata dall'inizio da un'aura di soprannaturale. Un soggetto, nel suo agire o già nel suo essere in grado di innescare e sostenere azione, appare esercitare un potere rilevante in termini di causalità e che, tuttavia, non si riesce a non riportare a una forza immateriale, vitalistica o spirituale in qualche modo dai contorni personali. Dove si dispone di una forza in senso strettamente agenziale – vale a dire, da agenti e non come corpi o sistemi di corpi percorsi da forze meccaniche –, questa è cioè sentita uscire dal novero dell'empirico e dunque delle scienze naturali, per addentrarsi in una regione del reale fisicamente trascendente e, in ultimo, sospetta. Se, pertanto, l'azione umana si vuole o eccezionale – e perciò non un caso particolare rappresentativo di un aspetto del vivente o della natura in generale – o invero a sua volta meccanicisticamente scomponibile, non si danno forme di agenzia genuina e naturale se non quella del movimento e della reattività secondo le leggi di fisica e chimica. In altre parole, mentre si comprende un unico modo di essere agenti a pieno titolo – e si è allora uomini, omuncoli o potenze sovranaturali come un'anima, un angelo o Dio –, l'alternativa, residuale, nel rappresentare l'attività del programma teleonomico è di nuovo in realtà la passività meccanica che appartiene a un insieme di istruzioni informatiche. L'attrattiva che possiede l'esempio dell'elaboratore elettronico non sta, a ben vedere, solo nel fatto che le sue

schede di programmazione operano in maniera meccanica, ma anche in quello che sono in se stesse componenti meccaniche in un macchinario. Sebbene un artefatto che non integra nella propria struttura costitutiva circuiti di controllo o algoritmi non sia capace di certe operazioni precise e complesse dal punto di vista comportamentale, un calcolatore, il quale nondimeno le incorpora, rimane una macchina che al pari di quelle non cibernetiche e non informatiche agisce meccanicamente. L'utile dei *computers* o di altri dispositivi simili passa infatti dal modo puntuale e straordinariamente efficiente con cui sono in grado di svolgere, per mezzo di processi automatici e quindi appunto meccanici, compiti e azioni che meccanici non sono. L'automatizzazione, in senso duplice, permette di attuare un processo fenomenologicamente elaborato, ma il suo ideale applicativo e metodologico sta nel riprodurlo eliminando il più possibile il ricorso all'intervento di un'agenzia autonoma esterna al processo stesso. Per quanto meccanici siano o siano pronti a divenire alcuni gesti attraverso cui un artigiano o un operaio lavorano assemblando, riparando e controllando i pezzi di un macchinario, il loro operare esige competenze e risorse – oltre che mezzi di impiegarle – che non si possono acquisire in maniera meramente meccanica e, quando pure così è, il lavoratore si dimostra comunque un soggetto agente esistente sia dentro sia al di fuori di una tale meccanicità operativa. Viceversa un calcolatore sembra essere studiato e montato precisamente per guadagnare, rispetto a certi compiti od obiettivi di interesse, il risultato del comportamento di un agente senza che nessuno dei suoi componenti agisca davvero. Nel momento in cui l'azione di un programma teleonomico, cioè delle proprietà e delle funzioni dei geni rispetto a un processo organico, è compatibile con una specie di reattività meccanica e chimica, risulta altresì continua con il meccanicismo che connota la descrizione fisica delle cose. Il portato di attività delle istruzioni genetiche sfuma perciò in una passività che non è semplice discriminare da quella che è stata riconosciuta netta e generale negli enti e nei mutamenti naturali non biologici: la linea di demarcazione che separa i comportamenti teleomatici dalla teleonomia – dunque in prospettiva i corpi materiali inerti dall'organico, la meccanica dalle scienze biologiche – appare insieme rigida e troppo debole. Si potrebbe forse lasciare a parte il criterio di dinamicità e considerare che quanto di peculiare distingue un processo organico controllato geneticamente non stia nel carattere mobile e propulsivo che il programma genera in un simile processo, ma piuttosto nel livello di gerarchizzazione meccanica che i suoi schemi di funzionamento aggiungono all'organizzazione della macchina

vivente. Gli eventi teleomatici di fisica e chimica non sarebbero qualitativamente differenti da quelli che paiono attivi nel campo della biologia, dato che tutti rispondono a una rappresentazione dell'universo scientifica e pertanto meccanicistica, salva da un'ipotesi di agenzia interna e spontanea che, se appartenente a un corpo, apre al metafisico o allo spirituale. Meccanicamente passivi come i primi, i comportamenti teleonomici sono però forniti di un ordine di complessità ontologica ulteriore – quello del genotipo –, che consentirebbe ad aggregati materiali meccanici quali sono gli organismi viventi, parimenti fisici e chimici, di esprimere processi ancora meccanici e solo appunto più sofisticati. Sarebbe insomma lo sviluppo di piani di organizzazione gerarchica sovrapposti a determinare la specialità del vivente, senza abbandonare il riferimento al meccanicismo naturale né appellarsi alla tematica dell'azione e dell'agenzia, che è critica alla luce della sua armatura teoretica¹¹¹. Eppure, da una parte la nozione di processo e dall'altra quella di fine, a cui il movimento guidato da un programma teleonomico tende, sembrano esigere una caratterizzazione dinamica della teleonomia e in maniera esplicita Mayr concentra il significato di questa categoria concettuale attorno all'attività processuale evidente dei comportamenti orientati a uno scopo. Quello che non affiora alla sua trattazione pur essendo largamente presente è però che l'esistenza stessa di un fine e la finalizzazione del processo nel suo insieme sono sentite richiedere che siano disposte attivamente le risorse necessarie a perseguirlo. Al contrario, se raggiunto automaticamente, uno stato di cose che delimita il termine estremo di un comportamento ormai concluso appare indistinguibile sotto il profilo epistemologico da un effetto quale quelli meccanici ed è a esso ontologicamente identico.

¹¹¹ È stato avanzato un modello che, sovrapponendoli, coniughi una forma di neomeccanicismo e la biologia organizzazionale, in termini analoghi ma invero un poco dissimili da quelli presentati in questi passaggi. Tesi principale della sintesi teorica che così si svolge è che meccanismi sofisticati a un grado elevato, come quelli di controllo, riprodurrebbero in maniera adeguata i corrispettivi organici, superando le deficienze del meccanicismo moderno imperniato invece sulla fisica. In parallelo, strutture e operazioni complesse di cui rendono conto fornirebbero le basi esplicative necessarie a una migliore e più rigorosa versione dell'organizzazione biologica. Si possono leggere a questo scopo BICH LEONARDO & BECHTEL WILLIAM, Mechanism, Autonomy and Biological Explanation, *Biology and Philosophy* 36.6.53 2021, <https://doi.org/10.1007/s10539-021-09829-8> e BICH & BECHTEL, Organization Needs Organization: Understanding Integrated Control in Living Organisms, *Studies in History and Philosophy of Science* 93 2022, pp. 96-106.

3.3 *Pars destruens*: fine e direzionalità del processo e il suo programma

Che genere di oggetto è, a questo punto, lo scopo verso cui muove un processo teleonomico, indirizzato dal suo programma? come inquadrarlo in una critica più ampia e ponderata? Nella vaghezza che riveste sia la definizione di una forma di finalità rigorosa sia quindi una riduzione scientificamente coerente di simili espressioni della vita, si rispecchiano i modi incerti in cui esse sono state rappresentate attive. Preliminare all'analisi che sfocia nel trarre i caratteri risolutivi della teleonomia, sta un fine – o, almeno, una maniera di intendere e svolgere teoricamente un fine biologico – suscettibile di uscire dal campo delle scienze naturali. Si possono accettare la necessità e una qualche ben argomentata liceità che appartengono, per esempio, alla descrizione di un insetto in una macchia arborea, intento a cercare certe piante che gli consentano di posarsi e di assicurargli una fonte di cibo importante o un riparo adatto al suo mimetismo. Comportamenti animali di questa sorta dispiegano uno o più scopi che istruiscono le azioni dell'individuo e, mentre si comprendono quali casi della sua propensione a esplorare e sfruttare attivamente l'ambiente, sono asserviti a raggiungere condizioni di sopravvivenza o altre opportunità salienti dal punto di vista biologico. Nondimeno, per quanto si pretendano legittimi, formule e concetti teleologici che così sembrano impiegati lasciano di per se stessi scoperta la natura di ciò a cui si riferiscono e anzi tendono a riproporre, nella semantica e nelle immagini che veicolano, una caratterizzazione ontologica di quei fenomeni sentita compromettente. Al di là della questione del linguaggio, infatti, questa informe e apparente teleologia è primariamente un *explanandum* – o, seguendo un approccio alternativo, *reducendum* –, che viene a costituirsi nel momento in cui già respinge una data interpretazione di tali comportamenti. Se si riscontrano fini, funzioni o altre strutture teleologiche di cui biologi e naturalisti non possono non rendere ragione, parimenti deve venire escluso un tipo di finalità agenziale, intenzionale o normativamente connotato che chiama in causa appunto una genuina sorgente di azione – un agente, insomma –, una volontà o una mente. Sebbene queste realtà rimandino a un orizzonte in maniera più o meno immediata soprannaturale e pertanto non scientifico, rimane però sensato che, come un uomo, un individuo dotato della capacità di muoversi in mezzo alle cose che lo circondano, manipolandole e rappresentandosele in forme via via meglio elaborate sotto l'aspetto cognitivo, sia in grado di agire teleologicamente. Di più, sospendendo l'interrogativo circa la sua esistenza, la finalità che guiderebbe l'azione di Dio o di uno spirito esprime alla potenza massima e in modo nitido la natura, la causalità e il porsi in essere del teleologico,

dove la sua declinazione nell'umano non sarebbe che il limite inferiore di una proprietà estranea ad altre regioni dell'esistente. Paradosso implicito nel tratteggiare i fenomeni che si hanno di fronte, allora quello che sembra finale nell'ambito del vivente lo è perché compreso in un modello di finalità pura e piena la cui consistenza è però immateriale, spirituale o comunque, in senso metafisico, occulta. In uno sviluppo analogo e parallelo al problema dell'agenzia, qualsiasi sfumatura teleologica che connoti un oggetto, un processo o un evento rinvia a ciò che è propriamente fine, scopo od obiettivo di una mente rappresentazionale, che lo intende nel disegnare il corso dei suoi atti e proiettarsi nell'azione, sensibile a norme, valori e ideali di tono morale. Questo dominio ontologico si avverte quindi conforme con una dimensione di interiorità, che lascia libero corso a forze e potenze recalcitranti a essere maneggiate dalle teorie scientifiche, giacché coinvolte nel manifestarsi di un'agenzia intesa in prospettiva personale come quella di un'anima o appunto uno spirito. Si tratta di un riferimento intrinseco alla preconcretizzazione della teleologia, che dati i suoi caratteri gli scienziati sono portati ad avvicinare con un atteggiamento di cauto scetticismo: in attesa di una sua riduzione empiricamente e naturalisticamente positiva, o tende a essere reputato insondabile per mezzo di esperimenti scientifici o in effetti non corrisponde ad alcunché di reale. Quando si considerano espressioni di finalità al di fuori dell'etologia, i difetti di questo termine di confronto emergono palesi e motivano l'insoddisfazione verso il ricorso ai fini quali costruito teorico potenzialmente di rilievo per le scienze biologiche. Nel cuore, a esempio, strutture e sottostrutture anatomiche sono integrate e coordinate nelle funzioni che adempiono per generare una sequenza di contrazioni e rilassamenti ritmici del muscolo nella sua interezza, stimolati da un potenziale d'azione elettrico, e permettere così al sangue di circolare. Pur riconoscendo i caratteri funzionali dei miocardiociti del segnapassi, dei ventricoli o del pericardio nel determinare la funzionalità globale dell'organo all'interno dell'organismo, sarebbe assurdo concepire queste funzioni come gli scopi intesi e rappresentati da una mente – o, addirittura, da un numero di menti corrispondenti ognuna a un atto intenzionale più o meno complesso – che agisce per la sopravvivenza dell'individuo. «Omiciattoli» di questo genere, responsabili del comportamento e dei processi organici attivi, sono forse l'espressione lampante delle derive contraddittorie e non saldamente

scientifiche cui condurrebbe una biologia teleologica, a soluzione delle quali è modellata la teleonomia¹¹².

Insomma, il teleonomico in generale e il programma che lo informa in particolare sono radicati su un campo di tensioni teoretiche antagoniste, che rischiano di innervare l'armatura interna delle nozioni impiegate e la loro efficacia esplicativa. Da una parte premono l'evidenza e la specialità di un fine naturale biologico e di un processo di finalizzazione, mentre dall'altra unico modo di concepire una simile finalità sembra quello personale o quasi personale e metafisico, rispetto a cui il meccanicismo e la sua versione della causalità offrono una alternativa di compensazione. In una formula, i fenomeni in esame testimoniano il darsi di uno scopo, però questo e i movimenti che ci si dirigono, instaurandolo, devono essere meccanici o compatibili con una rappresentazione meccanicistica dei fatti. Seguendo Mayr, l'asse portante nell'opera di meccanicizzazione dei fini pare reggersi appunto sul programma genetico: non meno naturale e ignoto che nelle schede di un calcolatore, infatti, l'obiettivo richiesto da una serie di eventi programmata è uno scopo perché è incluso in quanto scopo nelle istruzioni che, predefinite, controllano il processo. La predeterminazione dello stato di cose conclusivo che deve venire raggiunto consentirebbe, in specie, di rivoltare la direttrice causale dell'evento nel verso della causalità efficiente. Inscritta nell'informazione portata dai geni e da qui in seguito espressa, la meta precede come qualunque altra causa gli effetti a cui dà corso nel dispiegarsi fenotipico dell'azione del genoma. Ciò si riscontra sia sotto il profilo cronologico sia sotto quello ontologico, perché prima di essere innescati e regolati dai segnali dipendenti dalla cromatina i processi metabolici non si sviluppano o non si sviluppano adeguatamente. Un organismo completo e funzionalmente integro e armonioso è infatti derivazione ultima di un genotipo invece già dato e ben determinato allo stadio iniziale del percorso di

¹¹² MAYR, *Multiple Meanings* cit., p. 35, ancora nella sua polemica contro Krieger, nega che, come gli viene attribuito, «i processi teleologici sono quelli che implicano la deliberazione cosciente di un agente attivo» e, l'autore sbotta, «Chiedo, dove nei miei scritti ho mai detto alcunché di anche solo vagamente simile a quell'affermazione?», invitando dunque i lettori a controllare ciò che in effetti il suo interlocutore lo forzerebbe a dire. Tuttavia, contrariamente alla percezione e alle parole di Mayr, l'istanza antiantropomorfa è forte nel dare corpo a una concezione della teleonomia e, per ciò, dei fini scientificamente accreditata e, a ben guardare, rimanda a un criterio di scientificità generale se non altro per la biologia. Poco più oltre, giusto in relazione alla 'teleologia' di un organo come il cuore, è appunto di tale genere il contenuto semantico del fine che non si può riconoscergli: «"scopo", a quanto mi sembra, si può in modo legittimo attribuire solo a un organismo pensante. Per esempio, il cuore non ha scopi, non pensa incessantemente: "Devo continuare a battere per far scorrere il sangue"» (Ivi. p. 38). Vale a dire, parlare di fini espone in via immediata il tipo del fine cognitivo, che quando pure si volesse estendere ad altri «organismi pensanti» (altre specie animali, insomma) porta in sé tratti mentali, intenzionali e agenziali che risultano in un antropomorfismo chiaramente non scientifico del vivente.

ontogenesi. Parallelamente, quindi, si delinea la priorità logica del programma nel rendere conto causalmente dei comportamenti che delle istruzioni genetiche costituiscono l'applicazione. Al contrario, come la formulazione del «ciò in vista di cui» aristotelico lascia intravedere, il fine sarebbe un ente o un tratto ontologico causalmente rilevante nel suo sussistere alla conclusione di un atto, prima del quale non è nettamente istituito, e che, ciò nonostante, *ex post* incanala un potenziale d'azione verso la sua realizzazione. Nel momento in cui si genera e si dipana, un processo incardinato intorno a un punto di approdo tende a disporre i mezzi o gli stati di cose strumentali al raggiungimento di un obiettivo che, solo quando sia pienamente conseguito, si scopre nella nitidezza di una causa finale. Prima di allora – qui stanno le fondamenta dell'inversione del nesso causale rispetto alle cause efficienti, che dall'Era Moderna per le scienze naturali sono le cause *tout court* – i fini sono assenti, nel senso pregnante di non godere di una consistenza attuale, e però risaltano nel loro sovrainporsi ai movimenti invece già presenti vincolandoli a quella direttrice di sviluppo che li pone in essere. Fintantoché, cioè, un fine ancora non sussiste globalmente, quello è il dominio di fatti dove esercita il suo vero e proprio potere causale, mentre come si palesa, peraltro in modo materiale, la sua efficacia causale e il fenomeno da questa delineato giungono a esaurimento¹¹³. Stornati simili rischi nella teorizzazione della causalità scientifica, si può parlare allora di una sorta di finalit 

¹¹³ Mayr ha ben presente l'inversione della logica causale cui spiegazioni biologiche teleologicamente articolate si prestano e non a caso la annovera fra le obiezioni tradizionali contro il loro valore scientifico (MAYR, *Teleological and Teleonomic* cit., pp. 92-94). Cosi come lo concepisce, tuttavia, il teleonomico sarebbe al riparo da una simile accusa: se «qualcuno potrebbe sostenere che le difficolt  di una definizione accettabile per il linguaggio teleologico in biologia siano semplicemente state trasportate al termine "programma"», ci  non   vero giacch  fra le altre cose un programma, «a prescindere dalla sua definizione particolare», «esiste prima dell'inizio del processo teleonomico» ed   pertanto «compatibile con una spiegazione causale» (Ivi, p. 102). Pu  rivelarsi interessante leggere queste preoccupazioni teoretiche alla luce di WALSH DENIS, *Teleology*, in RUSE MICHAEL Ed., *The Oxford Handbook of Philosophy of Biology*, Oxford 2008, pp. 113-137, impegnato a riscattare la piena e positiva scientificit  della teleologia. Walsh   certo che quella che chiama «teleologia non ridotta» (*unreduced teleology*) sia «una modalit  esplicativa legittima, totalmente naturale», anzi «naturalisticamente accettabile, metafisicamente inattaccabile ed esplicitamente autonoma», addirittura dentro la «spiegazione evuzionistica» (Ivi, pp. 113-114). Pure, come in Mayr l'«argomento di inattualit »   espressione di un antinaturalismo teleologico secondo cui «i mezzi precedono i propri fini, ma... i fini spiegano i propri mezzi» in modo che si avvanza «l'ipotesi di una causalit  retrograda o qualche occulta forma di causalit  da stati di cose non attuali». Risolutiva appare una «concezione aristotelica di teleologia immanente»: cause non sono gli «scopi non attualizzati», bensì la «direzionalit  verso uno scopo» (*goal-directedness*), «una propriet  intrinseca di un sistema» e «occorrenziale, disposizionale, empiricamente osservabile» (Ivi, pp. 116 e 119). L'impressione   che, per condurre la naturalizzazione dei fini, sia avvertito comunque necessario 'raddrizzare' il verso del movimento causale nei termini della causalit  efficiente e, oltre a ci , insistere sul fatto che si tratti di concetti metodologici pi  che di realt . Nel caso del programma teleonomico, nonostante si anticipi cronologicamente lo scopo di un movimento di finalizzazione incorporandolo nelle istruzioni che lo avviano, rimane dubbio se lo scopo logico-algoritmico dei comandi sia identico allo stato di cose che   lo scopo *in re* del fenomeno.

meccanicistica per contrassegnare il pieno reinserimento di questa fenomenologia teleologica nell'ambito della scienza. Nel saggiare, tuttavia, il colore di una finalità così intesa, per lasciare a nudo i toni distintivi di uno scopo a confronto con quello che altrimenti è un qualsiasi effetto meccanico, la portata finale o quasi finale della teleonomia è di nuovo divisa fra le due sottocomponenti di un comportamento che la esibisce. Da un lato infatti emerge come fine o funzione teleonomica lo stadio processuale terminale di una sequenza di eventi governata da un programma, dall'altro invece essi sono rappresentati da quella linea di comando nelle istruzioni del programma genetico che, sotto forma di passaggio logico o algoritmico, predefinisce la meta cui orientare l'esecuzione delle istruzioni stesse. Come alla luce della sua agenzia, lo stato di cose che delinea il concludersi del movimento sembra divenire uno scopo non all'interno del processo in sé e per sé, ma soltanto in ragione del fatto che il processo è programmato o, detto altrimenti, che è nel programma che lo avvia e conduce a essere calcolato quale scopo¹¹⁴. In generale i fini non possono corrispondere a qualcosa di metafisico – e perciò scientificamente problematico – come cause invertite oppure aspetti dell'azione intenzionale e personale antropomorfa, per cui l'esito di un comportamento teleonomico non è in grado di mostrare la sua peculiarità epistemologica se non in rapporto alle istruzioni genetiche. Pertanto, nel movimento in se stesso il fine non pare fornito di caratteristiche che lo denotino univocamente, come punto di arrivo e attrattore cui dovrebbero convergere i mezzi impiegati dapprincipio a perseguirlo in modo attivo, ma resta sul medesimo piano dei passaggi dinamici intermedi che svolgono il movimento dall'origine al termine. Se il programma e le informazioni qua contenute sono anzi responsabili dell'iniziarsi del processo e del suo strutturarsi teleonomicamente, sono questi a presentarsi quali causa efficiente indipendente degli eventi che in maniera progressiva si sviluppano poi. Ogni stato processuale programmato è insomma, a ben guardare, un effetto dell'azione dei comandi genetici: semplice, meccanico e indistinguibile dagli altri dello stesso processo quanto a passività e subordinazione causale, non importa dove sia stato posizionato l'anello di questa catena della causalità. Il fine di un processo teleonomico tende a rivelarsi meramente un esito o

¹¹⁴ Il fine processuale teleonomico, cioè lo stato di cose che, nel comportamento soggetto al controllo di un programma genetico, costituisce il punto di arrivo saliente, rischia in verità di essere effetto due volte: rispetto alla meccanica del processo stesso si configura come effetto in una serie di cause ed effetti, mentre rispetto alle istruzioni che lo comandano è di nuovo effetto dell'operazione del programma. Soltanto il contenuto logico della sua rappresentazione algoritmica sembrerebbe in grado di qualificarsi distintamente come un obiettivo, riversando il proprio carattere teleologico nella natura parateleologica della teleonomia.

appunto un effetto meccanico – al più, differente da altri perché è ultimo lungo una prospettiva temporale tra quelli definiti dal programma –, sino a che non lo si interpreta a partire dalla sua controparte algoritmica, cui va a riallacciarsi. Eppure, non è agevole spogliare il movimento di direzionalità¹¹⁵, come sembrerebbe necessario una volta che il suo terminare non è qualitativamente dissimile da ciascuna delle fasi attraversate finché si dà moto. Tanto per quello che concerne i suoi attributi causali quanto per la caratterizzazione della sua finalità *lato sensu*, la risoluzione della natura del teleonomico si può ancora rimandare allo scopo inscritto in forma di algoritmo in un programma o, almeno, al nesso che congiunge le istruzioni al punto di approdo estremo del comportamento che da esse viene stimolato e perseguito. Se però è in ragione di un fine che un processo esibisce appunto finalizzazione, orientandosi cioè dinamicamente per il suo conseguimento, movimenti senza uno stato conclusivo saliente non si possono a rigore distinguere nella direzione che sembrano prendere per arrivarci. Ridimensionando il carattere attrattivo dello scopo cui tende il moto si diminuisce infatti allo stesso tempo la portata attiva del processo e il modo in cui la sua attività rimanga agganciata a quello scopo, differentemente da altri esiti che possono altrimenti scaturire dal dispiegarsi dell'efficacia causale manifestata nel fenomeno. Così, diventa problematico o addirittura improprio predicare la direzionalità di un movimento che, più che dirigersi, si dovrebbe dire che cade o scivola in un effetto in mezzo agli altri e che, in aggiunta, lo fa non per via di un impulso intrinseco ma soltanto perché questo risultato gli è fornito e trasmesso dall'azione del programma. Un processo che appare non orientato, rimosso il fine che era incastonato nella sua intelaiatura e che contrassegnava la direttrice dell'orientamento, dipende dalle istruzioni che lo controllano sia dal punto di vista strettamente agenziale sia a ben vedere da quello teleologico, scoprendosi passivo sotto un aspetto ulteriore. Come è il programma

¹¹⁵ Nota *a latere*, «direzionalità» è termine forse meno puntuale dal punto di vista della sua costruzione lessicale, comparato con le espressioni che, in Mayr e negli altri autori che ne trattano, indicano in genere il fenomeno della finalizzazione. In originale, «goal-directedness» – come del resto «end-directedness» e «goal-» oppure «end direction» – tiene assieme il carattere direzionale di un oggetto, processo o evento con il carattere finale di ciò a cui questo oggetto è diretto. A ben vedere, infatti, direzionali in un senso neutro e proprio sono anche, per esempio, i comportamenti che rispondono alle leggi della meccanica, poiché le trasformazioni fisiche che li riguardano date certe condizioni parimenti sono dirette verso un determinato esito, il quale tuttavia è un effetto e non uno scopo. Si deve comunque aggiungere che, perlomeno nelle categorie di Mayr, non esiste qualcosa come una direzionalità efficiente dei processi teleomatici, che risalti nel cambiamento della fisica di un fenomeno: all'inverso, la passività di simili cambiamenti li rende piuttosto una pura e semplice esplicitazione fattuale delle leggi di natura. Per quanto in misura del tutto eccezionale, «directionality» in ogni caso occorre e denota la finalizzazione di un comportamento, cosicché di fatto anche in questi autori ad apparire direzionali sono principalmente i processi orientati a uno scopo.

a vantare in maniera più netta il possesso di un'istanza positiva di attività rispetto al movimento di per se stesso, di nuovo è questo che contiene nei comandi che impartisce la sua finalizzazione. È tuttavia una sorta di dato fenomenologicamente chiaro, da riflettersi nella descrizione ontologica che se ne fa, che un processo del genere esprima una linea di sviluppo direzionale e che, a uno sguardo più ampio, sia a enti come movimenti, processi o dinamiche che si può ascrivere direzionalità. Parrebbe invece che tanto il moto quanto il suo verso di attuazione sono tali in obbedienza alle istruzioni genetiche che li determinano, all'interno delle quali unicamente è preformata e compressa una dimensione di processualità orientata, che poi viene messa in atto. Escludendo il programma che lo governa, perciò, il comportamento teleonomico si ripropone come un caso di comportamento arduo a isolarsi da quello dei processi teleomatici¹¹⁶. Oltre a rimanere subordinato nella sua carica agenziale all'azione di comandi a esso esterni, la sua finalizzazione e il suo punto di approdo coinvolgono invero una finalità degna di nota fintantoché è in simili comandi che sono così registrati e predisposti quelli che in se stessi sono effetti, meccanicisticamente articolati. Si potrebbe forse continuare la riduzione della teleonomia ai processi teleomatici fisici e chimici, equiparandoli anche per quello che riguarda il carattere direzionale espresso dal movimento, giacché questo non sembra appartenere alla sua natura, che invero prosegue una porzione del reale coerente con una causalità efficiente quanto gli eventi non compresi nel vivente. In modo un po' inaspettato, nella misura in cui un programma genetico prevede degli scopi che devono venire ricercati quando organizza le varie manifestazioni della vita, si può essere al contrario giustificati a riconoscere loro lo statuto di scopi veri e propri, dotati di una consistenza teleologica virtualmente piena. Per le istruzioni del programma, infatti, è data la purezza logica della condizione di fine: lo stato di cose finale cui viene guidato un comportamento è rappresentato sotto forma di componente in codice, quale passaggio algoritmico in una sequenza di passaggi che conta

¹¹⁶ Plausibilmente, se Mayr non riconosce una porzione di teleomatica come inerente a certi aspetti della teleonomia, è perché non intende né può confondere le due categorie sotto alcun riguardo. Forse più che per il materiale fenomenologico e teorico che i suoi processi rappresentano, la teleomatica è difatti epistemologicamente funzionale a tenere la fisica e il fisicalismo fuori dalla biologia. Già solamente riformulare le parole dell'autore, descrivendo un comportamento teleonomico come un comportamento teleomatico ma in aggiunta sorvegliato da un programma, allenterebbe la specialità delle scienze biologiche rispetto alla meccanica, da un versante privando i processi teleonomici di uno scopo cui tendere – se il processo fosse teleomatico, non esprimerebbe che semplici esiti di cose – e dall'altro legittimando l'autorità delle leggi naturali, dunque fisiche e chimiche, contro il ruolo biologico dei geni. Al tempo stesso però non può non colpire il parallelismo di legge naturale e programma verso i comportamenti che a essi sono sottomessi, per quel che interessa l'attività dei primi e la passiva subalternità dei secondi, oltre al fatto che il processo programmato geneticamente è, in se stesso, un processo fisico-chimico.

come obiettivo a cui far approdare i movimenti che sono controllati. Se un algoritmo enumera le strutture e le sottostrutture materiali incaricate di operare e parimenti scandisce i termini delle loro operazioni, nel momento in cui l'informazione deve condurre un sistema a un certo stato rilevante, perlomeno a livello procedurale alle prime si riferisce come a mezzi e al secondo come a un fine. Riemergono ancora valide, pure, le considerazioni che parallelamente sono state avanzate a proposito del ruolo agenziale dei programmi, dal momento che la finalità dei fini logici, algoritmici o cibernetici non sembra si possa concepire in senso stretto né indebolire in chiave meccanica. Quando, in primo luogo, la meta installata in una sequenza di comandi preliminari conti come scopo, la sola ed esclusiva maniera di restituirle i contenuti di uno scopo è quella che la disegna come un fine rappresentazionale, intenzionale e agenziale, non senza un colore morale che si avverte infiltrarsi in questi attributi. Un programma, in effetti, comprenderebbe propriamente un obiettivo da adempiere se fosse un agente e una mente personale, proteso nella realizzazione di un atto che vuole esistente quando al presente non lo è, sconfinando pertanto in una dimensione del reale e della causalità fuori dall'ambito della scienza. Dovendo, poi, respingere una caratterizzazione omuncolare del programma o di alcune delle sue articolazioni interne, torna la degenerazione della sua finalità verso una dinamica per così dire depotenziata di mera direzionalità, a sua volta critica. Suona difatti controintuitivo, concesso di essere davanti a un processo di finalizzazione, negare o sminuire a caratteristica di un'esplicitazione passiva la forma direzionale del movimento – a cui in verità sarebbe inerente –, mentre la medesima proprietà viene ascritta a un oggetto come un algoritmo che ontologicamente appare meno pronto a riceverla. In una serie di istruzioni predeterminate, che constano di un passaggio dopo l'altro e che si traducono in una procedura logica per assolvere a un compito, la scansione delle successive linee del programma non è movimento in senso stretto e, quindi, non si può agevolmente dire che è rivolta in una certa direzione. Ciononostante, sarebbe appunto qualcosa come uno schema algoritmico a essere responsabile di dirigere i movimenti ora solo apparentemente direzionali di un processo teleonomico, inglobando a un livello ontologico inferiore le proprietà fenomenologiche che dovevano venire spiegate e ridotte a quello superiore del movimento organico o, in prospettiva, dell'intero organismo vivente. La consistenza teleologica dello scopo nel processo in se stesso nonché quella della sua traiettoria direzionale, disgiunte le istruzioni genetiche che lo ordinano, sbiadiscono dunque sino a una neutralità

che, al limite, non riesce a differenziarli in modo netto da un processo causale efficiente in generale. Se il fine processuale tende a risolversi così in un effetto e la processualità orientata del moto in un movimento non orientato come quello teleomatico, l'onere di una qualche forma di finalità scivola a ragione sulla componente algoritmica che struttura teleonomicamente il processo. Tuttavia, un programma genetico non può includere al suo interno un obiettivo intenzionale o, oscillando su un'altra delle sfumature teleologiche in gioco, morale: questa che pure è l'espressione piena e più limpida della finalità farebbe in maniera evidente dei geni, del genoma e delle reazioni biochimiche che li interessano agenti e soggetti personali che dispongono di una volontà di agire e pertanto di un potere causale invertito, al di fuori del naturale. Non è semplice poi, sotto l'aspetto empirico, osservare o quantomeno dimostrare che, come nel movimento materiale e spaziale di un corpo o di un insieme di corpi per la meccanica, il succedersi e il coordinarsi delle istruzioni nel programma si dirigono verso la linea di codice che, nell'armatura logica che le sostiene, rappresenta lo scopo dei movimenti controllati. Se è data una direzionalità, tra gli attributi appartenenti al dominio delle relazioni logiche, algoritmiche e informative che costruiscono un programma, è verisimile che si tratti di una proprietà in parte diversa da come è esibita da un esempio di moto o di processo. Questa varrebbe forse piuttosto come una riferibilità logica e semantica o un indirizzo, che rende conto della capacità delle componenti dell'algoritmo di riferirsi le une alle altre dentro uno schema d'insieme che gli permette di veicolare informazione. Eppure, una simile caratteristica non sembra in grado di sostituirsi al tratto di mobilità e a quello di direzionalità che nondimeno devono rimanere presenti in un fenomeno processuale e rivolto a raggiungere una certa meta, vuoi su un piano della sua organizzazione o vuoi su un altro. È allora nuovamente possibile che *de facto*, attraverso la nozione di programma cibernetico, la complessità del vivente e in particolare la sua apparente finalizzazione non risalgano a una categoria fenomenologica distinta da quelle che individuano i processi meccanici. Assenti nei corpi dei sistemi fisici e chimici, le istruzioni genetiche non consentirebbero di far insorgere comportamenti li estranei perché attivi e diretti a uno scopo, sia pure in maniera compatibile e virtualmente continua con le caratteristiche della natura meccanica inorganica. Come già per quanto concerneva l'agenzia, esaminata nella sua singolarità, un programma appare invero un oggetto che nella sua ontologia e nelle prestazioni che è capace di fornire riesce integralmente meccanico. Quello che del comportamento teleonomico

risalta come speciale deriverebbe perciò dall'estensione dei piani di organizzazione gerarchica nei sistemi biologici, che ne comprende uno superiore a quelli della fisica inorganica e che si produce nel controllo e nella regolazione dei processi sottostanti. Le funzioni, importanti o meno che siano, che i geni assicurano o che assicurano vengano svolte in modo efficiente, si possono descrivere senza fuoriuscire da un modello di meccanicismo causale: sono, in altri termini, effetti come quelli teleomatici. Che il loro conseguimento si ripercuota causalmente sui processi interni al sistema e che così permetta a un organismo vivente di sopravvivere, non è legato a uno statuto *sui generis* – dal punto di vista ontologico o più precisamente eziologico – che li contraddistinguerebbe, quanto invece al contesto delle relazioni causali in cui risultano inseriti. Da un parte, dunque, si riapre la questione, lasciata sullo sfondo, della generazione di una trama di cause ed effetti così congegnata, meccanicistica e però al tempo stesso specifica a sufficienza da isolare il biologico dal resto della natura non vivente¹¹⁷. Oltre a questo, però, riguardano

¹¹⁷ La questione è quella della selezione naturale o meglio della genesi dei genomi e pertanto dei programmi teleonomici, attribuibile variamente appunto a processi selettivi, all'evoluzione nella sua generalità o, meno distintamente, alla natura. La linea che demarca gli organismi viventi individuali – l'ontogenesi e la «biologia funzionale» di Mayr – da eventi e processi storici evolutivi in senso proprio segna infatti un passaggio ripido e radicale per quanto concerne la finalità: se gli individui biologici esprimono teleonomia, né l'evoluzione né i contingenti momenti selettivi che la guidano si possono descrivere in termini teleonomici. Un primo problema è allora in che termini far rientrare il fenomeno della selezione, sia sotto l'aspetto latamente teleologico sia sotto quello dei suoi tratti ontologici. Respinta in modo deciso qualunque connotazione teleologica perché implicherebbe in se stessa l'esistenza di un agente selezionatore sovranaturale, sembra però quantomeno coerente con una sua rappresentazione approssimativa che, nel dispiegarsi, la selezione sia funzionale a elaborare geni – e programmi genetici – ben adattati. In *Cause and Effect* Mayr stesso non esitava a dire che «la selezione naturale fa del suo meglio per favorire la produzione di codici assicuranti un comportamento che incrementa l'adattabilità» e a definire «leggi» quelle che «controllano i cambiamenti di questi codici di generazione in generazione» (MAYR, *Cause and Effect* cit., p. 1504). Così, se la liceità di impiegare il lessico teleologico è controversa, nei contenuti l'agire di forze selettive viene descritto in modo pressoché corrispondente alla 'teleologia' di Ayala, per cui «la selezione naturale è un processo direzionale meccanicistico che si risolve in una accresciuta efficienza riproduttiva» dove «l'adattabilità riproduttiva si può allora dire essere il risultato finale o lo scopo della selezione» (AYALA, *Teleological Explanations* cit., p. 10). Quando si interpreti un fenomeno di questo genere secondo una causalità efficiente meccanica, la sua forma sembra comunque alquanto peculiare e rinvia a ciò che, in se stessa, è una causa selettiva evolucionistica. Nota GREENE, *Science, Philosophy, and Metaphor* cit., pp. 331-333 che la selezione naturale «nei saggi di Mayr è variamente caratterizzata come un principio, un fatto, una teoria e un processo» e, ponendo a esempio attenzione su questo ultimo aspetto, si tratterebbe di un processo di trasformazione multigenerazionale e storico. Tuttavia, la logica per mezzo di cui agisce non vuole essere dissimile da quella di un meccanismo e, anzi, le pressioni che esercita sulle varianti nel corso del tempo non possono risultare agenzialmente piene: pure, non potrebbe essere un meccanismo, perché non è composta di pezzi materiali come ingranaggi e molle di un orologio o appunto le schede di un calcolatore, e, se la sua è in qualsiasi modo un'azione, potrebbe essere soltanto quella di un agente. La realtà di un processo filogenetico è portata quindi a ridursi a quella del fatto bruto che ci sono organismi geneticamente in grado di sopravvivere e riprodursi e tendono a farlo, mentre altri per cui così non è tendono a non farlo. Una concezione meramente fattuale della selezione naturale appare invero il modo – forse un po' fuorviante – per segnare le sue caratteristiche ontologiche: è processuale (a esempio non come un embrione che matura ma come il processo in sé della sua maturazione), è sovraindividuale, contestuale o storica (quindi, non

principalmente i fini e le rappresentazioni della finalità le conseguenze di uno sviluppo teoretico che miri a salvaguardare il meccanicismo di questi fenomeni biologici e, di converso, a procurare loro in qualche maniera una versione ancora meccanica di quella componente interna cui ascrivere la finalizzazione. Dal momento che la teleologia globalmente espressa da un organismo o una parte organica è incline a essere ridotta al programma genetico responsabile della sua attività, se si può scorgere l'esistenza di un fine in un processo biologico, esso è quello meramente informazionale di un'istruzione. Contemporaneamente, però, la meta in un programma da un lato non sembra necessario che sia provvista di una dimensione finale di qualche sorta – essendo *stricto sensu* un nesso logico e procedurale in uno schema di comportamento –, dall'altro se la vantasse il suo termine di riferimento sarebbe la finalità agenziale, intenzionale e con ciò sovranaturale che si vuole aggirare e anzi spiegare. In aggiunta, appare irragionevole che, mentre le istruzioni si possono intendere come quanto di più direzionale e teleologicamente attivo le scienze naturali accettano nell'ambito della biologia, i processi biologici in se stessi non possiedano queste qualità. La teleonomia si presenta in conclusione come una forma che di diritto aspira a essere di quasi finalità, perché il teleologico deve venir riportato a una concettualità meccanicistica che dello scopo offra una interpretazione meccanica. I suoi interessi teorici non dispongono però degli strumenti e del vocabolario adatti a concepire un qualunque scopo che non equivalga di fatto a un effetto, cosicché il fine

come l'embriogenesi di un embrione in particolare, ma come l'ominazione nei suoi vari rami filogenetici degli ultimi milioni di anni) ed è immateriale, impersonale e naturale (quindi, coinvolge individui biologici materiali ma non è questi stessi individui, agisce ma la sua attività non è quella di una mente agente e può restare all'interno di una rappresentazione naturale del vivente). Così concepita, è più che ben fondato che un evento selettivo o la filogenesi non possano vantare le proprietà ontologiche, agenziali e teleologiche distintive di un organismo individuale. Insomma, se anche si può dare un senso in cui la selezione sia teleologicamente connotata, non sarebbe quello di una larva in metamorfosi o di un branco di prede in fuga, men che meno di un orologiaio. A riguardo, un secondo problema interessa perciò le ragioni che spingono a depotenziare – in effetti, a snaturare – la finalità implicita in un'azione psicologica o etologica oppure quella in un percorso ontogenetico. La distanza che separa questi casi di finalizzazione dalla natura di un processo storico evolutivo dovrebbe risultare tale da non essere d'impaccio, e per una corretta comprensione della selezione e per il riconoscimento di una qualche teleologia biologica emergente in certi enti naturali di tutt'altro tipo. Curiosamente, alla stessa maniera dei vitalisti, che sono accusati di ricondurre le forze vitali intenzionali a una evoluzione parimenti direzionale, la cecità delle meccaniche selettive appare premere per meccanicizzare il biologico anche in quelle forme che non sono congenite con la realtà di un processo storico. Fuori dalla portata di questo discorso, comunque sia, è approfondire una linea di critica intorno agli attributi teleologici eventualmente posseduti dalla selezione naturale e, invero, alla sua definizione in generale, dal momento che diversamente dalla nozione di fine i processi selettivi sono *in primis* un concetto tecnico e specificamente scientifico. Le sfaccettature della questione non sono insomma solo quelle concettuali – teoriche o filosofiche –, nondimeno comprimarie, ma anche quelle che riflettono la pratica metodologica e l'epistemologia *stricto sensu* della biologia evolutivista.

teleonomico diviene evanescente e, come l'agenzia dei processi teleonomici, un puro epifenomeno della causalità efficiente organica.

In conclusione, anche se sono state considerate particolarmente cogenti le ragioni che hanno spinto a depotenziare la teleologia sotto una concettualità come quella del teleonomico, non è garantito che quest'ultima sia in grado di risolvere in maniera positiva le contraddizioni imputate ai fini in generale. Certamente – soprattutto, quanto più diviene soggetto di una analisi e una rielaborazione teoretica libera – la teleonomia permette di esplorare un campo di estensione della finalità e della finalità naturale biologica intrecciandone i dati salienti con temi dell'epistemologia e della filosofia in senso lato. Un argomento che sembra di competenza tecnica e di dettaglio si dimostra in effetti capace di rimandare a una serie di questioni, che lo ricollegano con i modi che gli uomini hanno di sperimentare e rappresentare la loro relazione con la natura e, in ciò, con le forme nelle quali la scienza vanta la pretesa di definirli. A ben guardare, se un tipo di finalità o quasi finalità come quello in ultimo tratteggiato da Mayr risente di difetti critici, la dimensione cui appartengono si svolge appunto dentro i limiti tematici di dibattiti di questo genere, teoricamente aperti. Comprendere che cosa sia natura e il suo legame con una visione del reale e una teorizzazione di tipo scientifico, in contrasto con ciò che invece a vario titolo appare non naturale come l'artificio, la tecnica, la cultura, la storia o l'umano; definire che cosa renda tali le scienze naturali o almeno un paradigma interdisciplinare di scienza e chiarire se e su quali basi esse sanciscono una maggiore efficacia interpretativa della realtà rispetto a saperi che non sono conformati a loro strumenti e metodologia; dare infine conto sotto il profilo causale dei fenomeni riconosciuti come reali, naturali o scientificamente osservabili, indagando la logica e la portata esplicativa della causalità e i vincoli che la scienza intende sottoporle. Per un paradosso, la specializzazione logica e semantica che interessa la teleonomia nel pensiero maturo di Mayr dovrebbe sopprimere le ambiguità, sentite controscientifiche e irrazionali, di una nozione come quella di scopo e, tuttavia, lascia emergere il rigore delle premesse stesse di scientificità. Tanto l'agenzia quanto la direzionalità e la finalizzazione sono concepite cioè secondo prospettive che appaiono forzosamente semplificate. Anche una volta che queste vengano del tutto rimodellate, una piena ricostruzione del contenuto di simili istanze è alle fondamenta di un

solido proposito di entrare nella struttura intrinseca dei problemi sul campo. Altrimenti, la teleologia si riduce in modo affrettato e un po' ridicolo a un fantoccio concettuale, che male si adatta alla complessità del dibattito sui fini in natura e all'acume dimostrato nella storia della filosofia da intellettuali, naturalisti, scienziati e filosofi. Le falle e gli aspetti critici che connotano la teleonomia propongono infatti aporie che contrassegnavano in una molteplicità di modi già le riflessioni precedenti all'Era Contemporanea, che quindi in verità sono state percorse e affrontate prima dell'avvento di una Rivoluzione Scientifica. Insomma, restaurare la dignità teoretica del teleologico è necessario a dirimere i nodi del discorso oggi eventualmente condotto da un'impalcatura concettuale che ambisca a sostituirlo, sia o meno quella rivale del teleonomico.

Conclusione

A valle del percorso che così si è svolto, deve essere ricordato come questa tesi ha, passaggio dopo passaggio, selezionato un certo itinerario abbandonandone o almeno lasciandone in disparte altri. Lo stesso tema del fine naturale sarebbe infatti andato incontro a sviluppi differenti se non si fossero scelte le scienze biologiche come cornice teorica esemplare, se si fosse approfondita la teleonomia nelle concezioni di un autore diverso da Ernst Mayr o se, in ultimo, del teleonomico si fossero criticati in misura preponderante altri aspetti, rispetto a quello della sua componente cibernetica. Ciò nonostante, la posizione dell'evoluzionista si è dimostrata capace di sollevare le direttrici principali lungo cui ancora oggi la filosofia della biologia e la biologia teorica dibattono attorno al problema della finalità. La categorizzazione di Mayr gli permette inoltre di fare della sua disciplina una scienza *pleno iure* e perciò antiteleologica, ma al contempo di circoscrivere una sorta di scopo che, entro i termini ben sorvegliati dei processi e dei programmi teleonomici, prende in mano il testimone dalla precedente riflessione prescientifica. La nozione di programma genetico, il comportamento attivo degli organismi e la direzionalità delle traiettorie evolutive sono, peraltro, questioni che esondano dal fatto di essere implicate nella teleonomia. In sede di conclusione, si possono allora richiamare alcune aree che andrebbero meglio indagate per valutare la forza di certi assunti teorici dietro un simile concetto: in primo luogo, la portata storica rivoluzionaria che una teleonomia scientifica avrebbe di fronte alla 'vecchia teleologia'; dunque, la collocazione della proposta di Mayr in mezzo a quelle degli altri autori che, suoi contemporanei o suoi successori, hanno elaborato una nozione di teleonomia; infine, i caratteri che possiedono oggetti, eventi e concetti spiccatamente informatici – o, si potrebbe forse dire, neomeccanici – e il loro ruolo in una teoria della natura che li comprenda accanto a quelli fisici e a quelli biologici. Per quanto concerne questo ultimo punto, non è chiaro perché, come è sostenuto in modo vigoroso, una nozione di informazione dovrebbe stornare derivate riduzionistiche e meccanicistiche quando è appunto all'ambito delle scienze applicate tecnologiche che

la sua concettualità appartiene. Anche se così fosse, tuttavia, permane il difetto di una caratterizzazione che non provvede le basi atte a distinguere gli organismi viventi dai *computers* oppure, dal momento che una simile differenza è a volte esplicitamente negata, quello di un approfondimento teoretico e filosofico solido dei concetti dell'informatica in rapporto a quelli del meccanicismo moderno. Quindi, la specialità di questo repertorio di nozioni contribuisce a ridimensionare la posizione di Mayr, alla luce non solo del modo originario in cui il teleonomico è stato inteso ma anche della ricchezza di significati eterogenei che la teleonomia possiede nel novero degli altri autori che ne hanno discusso. Dove i programmi non giocano alcun ruolo nello sciogliere la criticità di un'apparente finalizzazione organica o dove perlomeno il loro è un ruolo di secondo ordine, altre istanze sono chiamate a rischiarare la logica di simili fenomeni e ciò consente di aprire il dibattito a un più esteso palcoscenico di interpretazioni. In tale senso, sembra esageratamente semplice – invero, grossolana e pertanto critica – la contrapposizione di uno statuto teorico puro, che si dovrebbe riconoscere a un concetto coerente con l'assetto gnoseologico delle scienze naturali, al discredito gettato sul valore di idee non strettamente scientifiche. Se difatti è lecito proporre un accomodamento del fenomeno della finalità, reale o apparente che sia, in termini che osservino un ben determinato modello di scienza, decisamente problematico diventa equiparare o addirittura confondere le differenti componenti di quello che si consideri non scientifico. Dalle religioni alla teologia naturale cristiana, dai più vari vitalismi agli evoluzionismi non darwiniani e da Aristotele a una ipotetica *Weltanschauung* che apparirebbe agli uomini indistintamente finché non facciano propria la *forma mentis* di una teoria dell'evoluzione in qualche modo ortodossa, la controparte negativa della teleonomia assomma caratteri non granché precisati. Proprio la varietà e l'estrema complessità di simili interlocutori spinge a reputare che questi si siano già confrontati con almeno un numero dei nodi teorici a cui la trattazione scientifica della teleologia deve rispondere. A meno, pertanto, di non voler ridurre la questione dei fini naturali a un argomento di definizioni meramente operative e settoriali, la consistenza di queste nozioni sembra passare da quella che va di nuovo ammessa per la finalità in generale.

Bibliografia

- AYALA FRANCISCO J., Teleological Explanations in Evolutionary Biology, *Philosophy of Science* 37.1 1970, pp. 1-15
- Teleological Explanations versus Teleology, *History and Philosophy of the Life Sciences* 20.1 1998, pp. 41-50
- BARANDIARAN XABIER E., DI PAOLO EZEQUIEL A. & ROHDE MARIEKE, Defining Agency: Individuality, Normativity, Asymmetry, and Spatio-Temporality in Action, *Adaptive Behavior* 17.5 2009, pp. 367-386
- BARSANTI GIULIO, *Una lunga pazienza cieca. Storia dell'evoluzionismo*, Torino 2005
- BARTLETT JONATHAN, Evolutionary Teleonomy as a Unifying Principle for the Extended Evolutionary Synthesis, *BIO-Complexity* 2 2017, pp. 1-7
- BEADKE JAN, O Organism, Where Art Thou? Old and New Challenges for Organism-Centered Biology, *Journal of the History of Biology* 52.2 2019, pp. 293-324
- BEATTY JOHN, Chance Variation: Darwin on Orchids, *Philosophy of Science* 73.5 2006, pp. 629-641
- BERGSON HENRI, *L'évolution créatrice*, Paris 1907 (trad. it. di Polidori Fabio, *L'evoluzione creatrice*, Milano 2002)
- BERTALANFFY LUDWIG VON, *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, New York 1968 (trad. it. di Bellone Enrico, *Teoria generale dei sistemi. Fondamenti, sviluppo, applicazioni*, Milano 1983)
- BICH LEONARDO & BECHTEL WILLIAM, Mechanism, Autonomy and Biological Explanation, *Biology and Philosophy* 36.6.53 2021, <https://doi.org/10.1007/s10539-021-09829-8>
- BICH LEONARDO & BECHTEL WILLIAM, Organization Needs Organization: Understanding Integrated Control in Living Organisms, *Studies in History and Philosophy of Science* 93 2022, pp. 96-106
- BOCK WALTER J., Ernst Mayr, Naturalist: His Contributions to Systematics and Evolution, *Biology and Philosophy* 9.3 1994, pp. 267-327
- BOUCHER SANDY C., Biological Teleology, Reductionism, and Verbal Disputes, *Foundations of Science* 26.4 2021, pp. 859-880
- BURKHARDT RICHARD W. JR., Ernst Mayr: Biologist-Historian, *Biology and Philosophy* 9.3 1994, pp. 359-371
- CALCOTT BRETT, Why How and Why Aren't Enough: More Problems With Mayr's Proximate-Ultimate Distinction, *Biology and Philosophy* 28.5 2013, pp. 767-780
- CORNING PETER A., Teleonomy and the Proximate-Ultimate Distinction Revisited, *Biological Journal of the Linnean Society* 127.4 2019, pp. 912-916

- Beyond the Modern Synthesis: A Framework for a More Inclusive Biological Synthesis, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 153 2020, pp. 5-12
- CRICK FRANCIS, Central Dogma of Molecular Biology, *Nature* 227.5258 1970, pp. 561-563
- CURIO EBERHARD, Towards a Methodology of Teleonomy, *Experientia* 29.9 1973, pp. 1045-1058
- DARWIN CHARLES R., *On the Origins of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, London 1859 (trad. it. di Frantini Luciana, *L'origine delle specie*, Torino 2011)
- *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, London 1871 (trad. it. di Fiorentini Paola e Migliucci Mario, *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*, Roma 1972)
- DAVIS BERNARD D., *The Teleonomic Significance of Biosynthetic Control Mechanisms, Cellular Regulatory Mechanisms*, *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* XXVI, Cold Spring Harbor (NY) 1961, pp. 1-10
- DE LAGUNA GRACE A., The Role of Teleonomy in Evolution, *Philosophy of Science* 29.2 1962, pp. 117-131
- DELBRÜCK MAX L. H., *Aristotle-totle-totle*, in MONOD JACQUES & BOREK ERNEST Eds., *Of Microbes and Life*, New York 1971, pp. 50-55
- DIAMOND JARED, Ernst Mayr (1904-2005), *Nature* 433.7027 2005, pp. 700-701
- DI PAOLO EZEQUIEL A., Autopoiesis, Adaptivity, Teleology, Agency, *Phenomenology and the Cognitive Sciences* 4.4 2005, pp. 429-452
- DOBZHANSKY THEODOSIUS, *Genetics and the Origins of Species*, New York 1937
- DRESOW MAX & LOVE ALAN C., Teleonomy: Revisiting a Proposed Conceptual Replacement for Teleology, *Biological Theory* 18.2 2023, pp. 101-113
- FISHER RONALD A., *The Genetical Theory of Natural Selection*, Oxford 1930
- FUTUYMA DOUGLAS J., Ernst Mayr and Evolutionary Biology, *Evolution* 48.1 1994, pp. 36-43
- GAMBAROTTO ANDREA & NAHAS AUGUSTE, Teleology and the Organism: Kant's Controversial Legacy for Contemporary Biology, *Studies in History and Philosophy of Science* 93 2022, pp. 47-56
- GARSON JUSTIN, Against Organizational Functions, *Philosophy of Science* 84.5 2017, pp. 1093-1103
- GHISELIN MICHAEL T., Darwin's Language May Seem Teleological, but His Thinking is Another Matter, *Biology and Philosophy* 9.4 1994, pp. 489-492
- Teleology: Grounds for Avoiding Both the Word and the Thing, *History and Philosophy of the Life Sciences* 24.3/4 2002, pp. 487-491
- GILBERT WILLIAM H., Strategies: Teleonomic vs. Teleological, *BioScience* 35.8 1985, p. 466
- GILBERT WILLIAM H. & HORRIDGE G. ADRIAN, Teleonomic Explanation, *BioScience* 28.5 1978, p. 304
- GOTTHELF ALLAN, Darwin on Aristotle, *Journal of the History of Biology* 32.1 1999, pp. 3-30

- GOULD STEPHEN J., Commentary on Greene and Mayr, *Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 238-242
- GOULD STEPHEN J. & LEWONTIN RICHARD C., The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme, *Proceedings of the Royal Society of London Series B Biological Sciences* 205.1161 1979, pp. 581-598
- GOULD STEPHEN J. & VRBA ELISABETH S., Exaptation—A Missing Term in the Science of Form, *Paleobiology* 8.1 1982, pp. 4-15
- GREENE JOHN C., The History of Ideas Revisited, *Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 201-227
- From Aristotle to Darwin: Reflections on Ernst Mayr's Interpretation in *The Growth of Biological Thought*, *Journal of the History of Biology* 25.2 1992, pp. 257-284
- Science, Philosophy, and Metaphor in Ernst Mayr's Writings, *Journal of the History of Biology* 27.2 1994, pp. 311-347
- HIMMELFARB GERTRUDE, *Darwin and the Darwinian Revolution*, London 1959
- HULL DAVID L., *Philosophy of Biological Science*, Englewood Cliffs (NJ) 1974
- Ernst Mayr on the Philosophy of Biology: A Review Essay, *Historical Methods: A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History* 23.1 1990, pp. 42-45
- HUXLEY JULIAN S., *What Dare I Think?: The Challenge of Modern Science to Human Action and Belief*, London 1931 (trad. it. di Prampolini Giacomo, *Ciò che oso pensare*, Roma 2022)
- *Evolution: The Modern Synthesis*, London 1942 (trad. it. di Grasso Luciano, *Evoluzione. La sintesi moderna*, Roma 1966)
- *Evolutionary Ethics*, Oxford 1943
- The Openbill's Open Bill: A Teleonomic Enquiry, *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Anatomie und Ontogenie der Tiere* 88.9 1960, pp. 9-30
- JACOB FRANÇOIS, *La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*, Paris 1970 (trad. it. di Serafini Aldo e Serafini Silvia, *La logica del vivente. Storia dell'ereditarietà*, Torino 1971)
- *Le jeu des possibles. Essai sur la diversité du vivant*, Paris 1981
- Intervention, *Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 237
- JACOB FRANÇOIS & MONOD JACQUES L., Genetic Regulatory Mechanisms in the Synthesis of Proteins, *Journal of Molecular Biology* 3.3 1961, pp. 318-356
- JOHNSON MONTE R., *Aristotle on Teleology*, Oxford 2005
- JUNKER THOMAS, Factors Shaping Ernst Mayr's Concepts in the History of Biology, *Journal of the History of Biology* 29.1 1996, pp. 29-77
- KANT IMMANUEL, *Critik der Urtheilskraft*, 1790 (trad. it. di Marassi Massimo, *Critica del giudizio*, Milano 2004)
- KOYRÉ ALEXANDRE, The Significance of the Newtonian Synthesis, *The Journal of General Education* 4.4 1950, pp. 256-268
- KRIEGER GERALD J., Transmogrifying Teleological Talk?, *History and Philosophy of the Life Sciences* 20.1 1998, pp. 3-34
- LENNOX JAMES G., Darwin Was a Teleologist, *Biology and Philosophy* 8.4 1993, pp. 409-421

- Teleology by Another Name: A Reply to Ghiselin, *Biology and Philosophy* 9.4 1994, pp. 493-495
- LERNER DANIEL Ed., *Cause and Effect: The Hayden Colloquium on Scientific Method and Concept*, New York 1965
- LOISON LAURENT, Canalization and Genetic Assimilation: Reassessing the Radicality of the Waddingtonian Concept of Inheritance of Acquired Characters, *Seminars in Cell & Developmental Biology* 88 2019, pp. 4-13
- LONGO GIUSEPPE, MIQUEL PAUL-ANTOINE, SONNENSCHNEIN CARLOS & SOTO ANA M., Is Information a Proper Observable for Biological Organization?, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 109.3 2012, pp. 108-114
- LONGO GIUSEPPE, MONTÉVIL MAËL, SONNENSCHNEIN CARLOS & SOTO ANA M., In Search of Principles for a Theory of Organisms, *Journal of Biosciences* 40.5 2015, pp. 955-968
- LONGO GIUSEPPE & TENDERO PIERRE-EMMANUEL, The Differential Method and the Causal Incompleteness of Programming Theory in Molecular Biology, *Foundations of Science* 12 2007, pp. 337-366
- LOVEJOY ARTHUR O., *The Great Chain of Being: A Study of the History of an Idea*, Cambridge (MA) 1936 (trad. it. di Formigari Lia, *La grande catena dell'essere*, Milano 1981)
- MATURANA HUMBERTO R., The Organization of the Living: A Theory of the Living Organization, *International Journal of Man-Machine Studies* 7.3 1975, pp. 313-332
- MATURANA HUMBERTO R. & VARELA FRANCISCO J., *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*, Santiago 1973
- MAYNARD SMITH JOHN, The Concept of Information in Biology, *Philosophy of Science* 67.2 2000, pp. 177-194
- MAYR ERNST W., *Systematics and the Origins of Species: From the Viewpoint of a Zoologist*, New York 1942
- *Darwin and the Evolutionary Theory in Biology*, in MEGGERS BETTY J. Ed., *Evolution and Anthropology: A Centennial Appraisal*, Washington (DC) 1959, pp. 1-10
- Cause and Effect in Biology, *Science* 134.3489 1961, pp. 1501-1506
- The Evolution of Living Systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 51.5 1964, pp. 934-941
- Lamarck Revisited, *Journal of the History of Biology* 5.1 1972, pp. 55-94
- The Nature of the Darwinian Revolution, *Science* 176.4038 1972, pp. 981-989
- Teleological and Teleonomic, a New Analysis, in COHEN ROBERT S. & WARTOFSKY MARX W. Eds., *Methodological and Historical Essays in the Natural and Social Sciences*, Boston Studies in the Philosophy of Science XIV, Dordrecht 1974, pp. 91-117
- *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*, Cambridge (MA) 1982 (ed. it. a c. di Corsi Pietro, trad. di aa.vv., *Storia del pensiero biologico. Diversità, evoluzione, eredità*, Torino 1990)
- Weismann and Evolution, *Journal of the History of Biology* 18.3 1985, pp. 295-329
- The Death of Darwin?, *Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 229-235
- The Idea of Teleology, *Journal of the History of Ideas* 53.1 1992, pp. 117-135

- Recapitulation Reinterpreted: The Somatic Program, *The Quarterly Review of Biology* 69.2 1994, pp. 223-232
- The Multiple Meanings of ‘Teleological’, *History and Philosophy of the Life Sciences* 20.1 1998, pp. 35-40
- The Philosophical Foundations of Darwinism, *Proceedings of the American Philosophical Society* 145.4 2001, pp. 488-495
- MONOD JACQUES L., *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris 1970 (trad. it. di Busi Anna, *Il caso e la necessità. Saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea*, Milano 1970)
- MONOD JACQUES L. & JACOB FRANÇOIS, *Teleonomic Mechanisms in Cellular Metabolism, Growth, and Differentiation, Cellular Regulatory Mechanisms, Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology XXVI*, Cold Spring Harbor (NY) 1961, pp. 389-401
- MONTÉVIL MAËL, Historicity at the Heart of Biology, *Theory in Biosciences* 141.2 2022, pp. 165-173
- MONTÉVIL MAËL & MOSSIO MATTEO, Biological Organisation as Closure of Constraints, *Journal of Theoretical Biology* 372 2015, pp. 179-191
- MONTÉVIL MAËL, MOSSIO MATTEO, POCHEVILLE ARNAUD & LONGO GIUSEPPE, Theoretical Principles for Biology: Variation, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 36-50
- MORENO ALVARO & MOSSIO MATTEO, *Biological Autonomy: A Philosophical and Theoretical Inquiry*, Dordrecht 2015
- MORGAN THOMAS H., *A Critique of the Theory of Evolution*, Princeton (NJ) 1916
- *The Theory of the Gene*, New Haven (CT) 1926
- MOSSIO MATTEO & BICH LEONARDO, What Makes Biological Organisation Teleological?, *Synthese* 194.4 2017, pp. 1089-1114
- MOSSIO MATTEO, MONTÉVIL MAËL & LONGO GIUSEPPE, Theoretical Principles for Biology: Organization, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 24-35
- MOSSIO MATTEO, SABORIDO CRISTIAN & MORENO ALVARO, An Organizational Account of Biological Functions, *The British Journal for the Philosophy of Science* 60.4 2009, pp. 813-841
- NAGEL ERNEST, *Types of Causal Explanation in Science*, in LERNER DANIEL Ed., *Cause and Effect: The Hayden Colloquium on Scientific Method and Concept*, New York 1965, pp. 11-32
- Teleology Revisited: Goal-Directed Processes in Biology & Functional Explanations in Biology, *The Journal of Philosophy* 74.5 1977, pp. 261-301
- NEANDER KAREN, Functions as Selected Effects: The Conceptual Analyst’s Defense, *Philosophy of Science* 58.2 1991, pp. 168-184
- NOBLE DENIS, Conrad Waddington and the Origin of Epigenetics, *The Journal of Experimental Biology* 218.6 2015, pp. 816-818
- Central Dogma or Central Debate?, *Physiology* 33.4 2018, pp. 246-249
- NORDENSKIÖLD ERIK, *Biologins historia. En överblick voll. III*, Stockholm 1920-1924

- ORGOGOZO VIRGINIE, PELUFFO ALEXANDRE E. & MORIZOT BAPTISTE, *The “Mendelian Gene” and the “Molecular Gene”*: Two Relevant Concepts of Genetic Units, in ORGOGOZO VIRGINIE Ed., *Genes and Evolution, Current Topics in Developmental Biology* CXIX, New York-London 2016, pp. 1-26
- PALEY WILLIAM, *Natural Theology, or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity Collected from the Appearances of Nature*, London 1802
- PARTRIDGE ERIC & BEALE PAUL, *A Dictionary of Slang and Unconventional English*, London 1984
- PELUFFO ALEXANDRE E., The “Genetic Program”: Behind the Genesis of an Influential Metaphor, *Genetics* 200.3 2015, pp. 685-696
- PERRET NICOLE & LONGO GIUSEPPE, Reductionist Perspectives and the Notion of Information, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 11-15
- PITTENDRIGH COLIN S., *Adaptation, Natural Selection, and Behavior*, in ROE ANNE e SIMPSON GEORGE G. Eds., *Behavior and Evolution*, New Haven (CT) 1958, pp. 390-416
- POPPER KARL R., *The Open Society and Its Enemies*, London 1945 (trad. it. di Pavetto Renato, *La società aperta e i suoi nemici*, Roma 1973)
- PROSS ADDY, On the Chemical Nature and Origin of Teleonomy, *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 35.4 2005, pp. 383-394
- RICŒUR PAUL, *La métaphore vive*, Paris 1975 (trad. it. di Grampa Giuseppe, *La metafora viva. Dalla retorica alla poetica: per un linguaggio di rivelazione*, Milano 1983)
- RINGER FRITZ K., *The Decline of the German Mandarins: The German Academic Community, 1890-1933*, Cambridge (MA) 1969
- ROGER JACQUES, Présentation d’une controverse, *Revue de synthèse* 107.3 1986, p. 199
— Réflexions sur une controverse, *Revue de synthèse* 107.3 1986, pp. 255-265
- RUIZ-MIRAZO KEPA & MORENO ALVARO, Autonomy in Evolution: From Minimal to Complex Life, *Synthese* 185.1 2012, pp. 21-52
- RUIZ-MIRAZO KEPA, PERETÓ JULI & MORENO ALVARO, A Universal Definition of Life: Autonomy and Open-Ended Evolution, *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 34.3 2004, pp. 323-346
- RUIZ-MIRAZO KEPA, ETXEBERRIA ARANTZA, MORENO ALVARO & IBÁÑEZ JESÚS, Organisms and Their Place in Biology, *Theory in Biosciences* 119.3/4 2000, pp. 209-233
- SCHRÖDINGER ERWIN, *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge 1944 (trad. it. di Ageno Mario, *Che cos’è la vita? La cellula vivente dal punto di vista fisico*, Milano 1995)
- SHERMER MICHAEL & SULLOWAY FRANK J., The Grand Old Man of Evolution, *Skeptical* 8.1 2000, pp. 76–82
- SIMPSON GEORGE G., *Tempo and Mode in Evolution*, New York 1944
— *The Major Features of Evolution*, New York 1953
— *Behavior and Evolution*, in ROE ANNE e SIMPSON GEORGE G. Eds., *Behavior and Evolution*, New Haven (CT) 1958, pp. 507-535
- SIMPSON GEORGE G. & SIMPSON LAURENCE, *The Meaning of Evolution: A Study of the History of Life and of Its Significance for Man*, New Haven (CT) 1949

- SOTO ANA M., LONGO GIUSEPPE, MONTÉVIL MAËL & SONNENSCHNEID CARLOS, The Biological Default State of Cell Proliferation with Variation and Motility, a Fundamental Principle for a Theory of Organisms, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 122.1 2016, pp. 16-23
- TOEPFFER GEORG, *Teleology in Natural Organized Systems and in Artefacts: Interdependence of Processes versus External Design*, in ILLETTERATI LUCA & MICHELINI FRANCESCA Eds., *Purposiveness: Teleology Between Nature and Mind*, Heusenstamm 2008, pp. 163-182
- Teleology and Its Constitutive Role for Biology as the Science of Organized Systems in Nature, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43.1 2012, pp. 113-119
- TURING ALAN M., Computing Machinery and Intelligence, *Mind* 59.236 1950, pp. 433-460
- VARELA FRANCISCO J., MATURANA HUMBERTO R. & URIBE RICARDO B., Autopoiesis: The Organization of Living Systems, Its Characterization and a Model, *Biosystems* 5.4 1974, pp. 187-196
- WADDINGTON CONRAD H., *The Strategy of the Genes*, London 1957
- *Towards a Theoretical Biology*, Edinburgh 1968
- WALSH DENIS, *Teleology*, in RUSE MICHAEL Ed., *The Oxford Handbook of Philosophy of Biology*, Oxford 2008, pp. 113-137
- WILKINS ADAM S., Waddington's Unfinished Critique of Neo-Darwinian Genetics: Then and Now, *Biological Theory* 3.3 2008, pp. 224-232
- WILLIAMS GEORGE C., *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some Current Evolutionary Thought*, Princeton (NJ) 1966
- *Group Selection*, Chicago 1971
- *Sex and Evolution*, Princeton (NJ) 1975
- WOLFE CHARLES T., Do Organisms Have an Ontological Status?, *History and Philosophy of the Life Sciences* 32.2/3 2010, pp. 195-231
- WOODFORD PETER, Neo-Darwinists and Neo-Aristotelians: How to Talk About Natural Purpose, *History and Philosophy of the Life Sciences* 38.4 2016, pp. 1-22
- WRIGHT LARRY, Functions, *The Philosophical Review* 82.2 1973, pp. 139-168
- ZELENY MILAN, Self-Organization of Living Systems: A Formal Model of Autopoiesis, *International Journal of General Systems* 4.1 1977, pp. 13-28

