

Spiegazione meccanicistica e biologia organismica

I metodi analitici delle moderne scienze naturali per universale ammissione sono idonei allo studio di tutti i fenomeni non viventi, anche di quelli che non sono ancora completamente conosciuti, come i raggi cosmici o il tempo meteorologico. Sono inoltre generalmente incoraggiati e auspicati i tentativi di unificare branche speciali della fisica attraverso la riduzione dei loro svariati sistemi di spiegazione ad una teoria generale. Questi metodi sono stati fruttuosamente impiegati anche per lo studio degli organismi viventi durante gli ultimi quattro secoli; e molti tratti caratteristici dei processi vitali sono stati spiegati con successo in termini fisico chimici.

Eminenti biologi e fisici sono giunti perciò alla conclusione che i metodi delle scienze fisiche sono pienamente adeguati all'oggetto della biologia, e molti di questi scienziati si sono convinti che alla fine la biologia nella sua totalità sarebbe divenuta semplicemente un capitolo della fisica e della chimica.

Malgrado, però, gli innegabili successi delle spiegazioni fisico chimiche nello studio degli esseri viventi, biologi di indiscussa competenza continuano a considerare tali spiegazioni come non interamente adeguate all'oggetto della biologia. La maggior parte dei biologi concordano in generale sul fatto che tanto i processi vitali quanto quelli non vitali hanno luogo soltanto in determinate condizioni fisico chimiche e non costituiscono eccezioni rispetto alle leggi fisico chimiche. Alcuni di loro nondimeno sostengono che il tipo di analisi richiesto per comprendere i fenomeni viventi è fondamentalmente diverso da quello che si adotta nelle scienze fisiche. L'opposizione all'assorbimento sistematico della biologia nella fisica e nella chimica è talvolta basata su un motivo pratico in quanto tale assorbimento non si conforma alla corretta strategia della ricerca biologica. Tale opposizione però è spesso sostenuta da argomentazioni teoriche le quali mirano a dimostrare che la riduzione della biologia alla fisico chimica è intrinsecamente impossibile. La biologia è stata a lungo un settore in cui le questioni cruciali inerenti alla logica della spiegazione sono state oggetto di vigorose discussioni. In

ogni caso è istruttivo l'esame di alcune delle ragioni solitamente avanzate dai biologi per sostenere che la logica dei concetti esplicativi in biologia è caratteristica di questa scienza la quale è pertanto una disciplina intrinsecamente autonoma.

Quali sono i principali sostegni a favore di questa tesi?

1. Cominciamo ad eliminarne due fra i meno rilevanti. Per quanto sia difficile formulare in termini precisi le differenze generiche fra il mondo vivente e quello non vivente nessuno dubita seriamente del fatto ovvio che tali differenze esistano. Le varie "scienze della vita" per conseguenza si occupano di questioni speciali che sono manifestamente diverse da quelle di cui trattano la fisica e la chimica. In particolare la biologia studia l'anatomia e la fisiologia degli esseri viventi e indaga sui modi e sulle condizioni della loro riproduzione, del loro sviluppo e del loro decadimento. Essa classifica gli organismi viventi in tipi o specie; e indaga sulla loro distribuzione geografica, le loro linee di discendenza, e i modi e le condizioni dei loro mutamenti evolutivi. La biologia analizza anche gli organismi come strutture di parti correlate e cerca di scoprire in che modo ciascuna parte contribuisca alla conservazione dell'organismo come un tutto. La fisica e la chimica, invece, non si occupano specificamente di tali problemi per quanto anche l'oggetto della biologia ricada entro il dominio di queste scienze. Così una pietra o un gatto che cadano da una certa altezza mostrano comportamenti che ricevono una formulazione comune nelle leggi della meccanica; e perciò sia i gatti che le pietre appartengono all'oggetto della fisica. I gatti nondimeno possiedono caratteristiche strutturali e si inseriscono in processi ai quali la fisica e la chimica, per lo meno nella loro odierna formulazione, non sono interessate. Volendoci esprimere in termini più formali la biologia adotta espressioni che si riferiscono a caratteristiche identificabili dei fenomeni viventi (quali 'sesso', 'divisione cellulare', 'ereditarietà' o 'adattamento') e enuncia leggi che le comprendono (quali 'l'emofilia fra gli esseri umani è un carattere ereditario legato al sesso') le quali non si danno nelle scienze fisiche e non sono attualmente definibili a partire da queste scienze o derivabili da esse. Per conseguenza sebbene l'oggetto della biologia e delle scienze fisiche non sia disgiunto e sebbene la biologia faccia uso di distinzioni e di leggi prese a prestito dalle scienze fisiche, le due scienze attualmente non coincidono. Non meno evidente è il fatto che le tecniche di osservazione e di sperimentazione in biologia sono in generale diverse da quelle usuali nelle scienze fisiche. Certamente alcuni strumenti e alcune tecniche di osservazione di misura e di calcolo (quali le lenti, la bilancia e l'algebra) sono usati in entrambi i gruppi di discipline. La biologia però richiede anche mezzi speciali come quelli concessi alla dissezione dei tessuti organici) che non hanno alcun impiego in fisica; e la fisica adopera tecniche (come quelle che sono necessarie per trattare correnti ad alta tensione) che non sono importanti

per la biologia di oggi. Un fisico non addestrato alle speciali tecniche della ricerca biologica non ha maggior probabilità di espletare con successo un esperimento biologico di quanta ne abbia un pianista non assuefatto agli strumenti a fiato di suonare bene un oboe.

Queste differenze fra gli speciali problemi e le speciali tecniche delle scienze fisiche e biologiche sono talora citati come prova della intrinseca autonomia della biologia, e sono invocate a sostegno della tesi secondo cui i metodi analitici della fisica non sono pienamente adeguati agli obiettivi dell'indagine biologica. Per quanto le differenze siano effettive esse però non legittimano tali conclusioni. La meccanica, l'elettromagnetismo, e la chimica, per esempio, sono *prima facie* branche distinte della fisica, in ciascuna delle quali si affrontano problemi speciali e sono impiegate tecniche differenti. Come abbiamo visto però non vi sono ragioni sufficienti per sostenere che ciascuna di queste parti della fisica sia una disciplina autonoma. Se esiste una base fondata per la pretesa autonomia assoluta della biologia, bisogna cercarla altrove e non nelle differenze fra la biologia e quelle scienze fisiche che sono state fino a questo momento prese in considerazione.

2. Quali sono allora le ragioni di maggior peso che stanno a sostegno di quella affermazione? Le principali sembrano essere le seguenti. I processi vitali hanno *prima facie* un carattere finalistico; gli organismi sono suscettibili di autoregolazione, e di autoconservazione e autoriproduzione e le loro attività sembrano essere dirette verso il conseguimento di scopi situati nel futuro. Si ammette di solito che si possano studiare e formulare le caratteristiche morfologiche delle piante e degli animali in maniera paragonabile a quella in cui le scienze fisiche investigano i caratteri strutturali degli esseri non viventi. Così si ritiene di solito che le categorie di analisi e di spiegazione usate nella fisica risultino adeguate per lo studio dell'anatomia macroscopica e microscopica del rene umano o dell'ordine seriale del suo sviluppo. Gli studi morfologici però sono solo una parte del compito del biologo, dal momento che questo comprende anche l'indagine sulle *funzioni* delle strutture nel mantenere le attività dell'organismo come un tutto. Così la biologia studia il ruolo sostenuto dal rene e dalla sua struttura microscopica nel conservare la composizione chimica del sangue e quindi le attività caratteristiche dell'intero corpo e delle sue parti. Un tale comportamento degli esseri manifestamente diretto a un fine è quello che si ritiene spesso richiedere una distinta categoria di spiegazione in biologia.

Gli esseri viventi, inoltre, sono totalità organiche, non "sistemi additivi" di parti indipendenti e il comportamento di queste parti non può essere convenientemente compreso se queste vengono considerate come altrettanti meccanismi isolabili. Le parti di un organismo devono essere considerate come elementi interamente correlati di un tutto integrato. Esse si influenzano reciprocamente e il loro comportamento regola

le attività dell'organismo come un tutto ed a sua volta viene da esse regolato. Alcuni biologi hanno sostenuto che il comportamento coordinato e suscettibile di adattamento degli organismi viventi può essere spiegato solo facendo appello ad uno speciale agente vitalistico; altri credono che sia possibile una spiegazione nei termini dell'organizzazione gerarchica di parti internamente correlate dell'organismo. In entrambi i casi però — così si sostiene frequentemente — la biologia non può fare a meno della nozione di unità organica; e di conseguenza deve servirsi di modalità di analisi e di formulazione che sono senza dubbio *sui generis*.

Per conseguenza due sono le caratteristiche principali che vengono di solito addotte per differenziare in modo essenziale la biologia dalle scienze fisiche. Una consiste nella posizione dominante occupata dalle spiegazioni *teleologiche* nell'indagine biologica. L'altra consiste nell'uso degli strumenti concettuali pertinenti unicamente allo studio di sistemi tali che il loro comportamento totale non è la risultante delle attività di componenti indipendenti. Dovremo ora esaminare queste tesi un poco dettagliatamente.

I. La struttura delle spiegazioni teleologiche

Quasi tutti i trattati o le monografie di argomento biologico ci offrono la prova effettiva del fatto che i biologi prendono in esame le funzioni degli organi e dei processi vitali nel conservare le attività caratteristiche degli esseri viventi. Di conseguenza se si intende la "analisi teleologica" come un'indagine attorno a tali funzioni e ai processi diretti al conseguimento di certi risultati finali, allora senza dubbio le spiegazioni teleologiche sono onnipresenti in biologia. Sotto questo aspetto senza dubbio la differenza fra la biologia e le scienze fisiche sembra essere netta. Da parte di un fisico moderno sarebbe certamente una stranezza dichiarare, per esempio, che gli atomi hanno involucri esterni di elettroni allo scopo di rendere possibile la propria unione chimica con altri atomi. Nell'antica scienza aristotelica le categorie di spiegazione suggerite dallo studio degli esseri viventi e delle loro attività (e in particolare dalla tecnica umana) venivano assunte come regola per ogni indagine. Dal momento che tanto i fenomeni viventi quanto quelli non viventi furono così analizzati in termini teleologici — analisi che pose al centro la nozione di causa finale — la scienza greca non realizzò una fondamentale frattura fra la biologia e le altre scienze della natura. La scienza moderna, invece, considera le cause finali come delle vestali vergini e infeconde, nello studio dei fenomeni fisici e chimici; e, poiché le spiegazioni teleologiche sono associate alla dottrina che gli scopi e i fini dell'attività sarebbero agenti dinamici delle realizzazioni proprie, la scienza moderna tende a considerare tali spie-

gazioni come dettate da una sorta di atteggiamento oscurantistico. La presenza delle spiegazioni teleologiche nella biologia e la loro evidente assenza dalle scienze fisiche comporta però davvero la assoluta autonomia della prima? Tenteremo di dimostrare che le cose non stanno così.

1. Anche prescindendo completamente dalla loro associazione con la dottrina delle cause finali, le spiegazioni teleologiche sono talora considerate sospette nelle moderne scienze naturali in quanto si assume che esse facciano appello a scopi e fini previsti in qualità di fattori causali nei processi naturali. Si ammette che i fini e gli scopi svolgano dei ruoli importanti nelle attività umane, ma non vi è alcun fondamento per la loro assunzione nello studio dei fenomeni fisico-chimici e di moltissimi fenomeni biologici. Come si è già osservato però numerose spiegazioni considerate teleologiche non postulano né scopi né fini previsti; infatti le spiegazioni sono spesso dette "teleologiche" solo nel senso che esse specificano le *funzioni* proprie degli enti e dei processi. Gran parte dei biologi contemporanei non attribuiscono certamente dei fini alle parti organiche degli esseri viventi di cui vengono indagate le funzioni; la maggior parte di essi probabilmente negherebbe altresì che le relazioni mezzi-fini, scoperte nella organizzazione degli esseri viventi, siano il prodotto di qualche piano deliberato da parte di un agente intenzionale, sia esso divino o, in qualche altra forma, soprannaturale. Certamente ci sono biologi che postulano degli stati psichici come forze concomitanti e persino direttrici di tutto il comportamento organico. Tali biologi sono però una minoranza e di solito sostengono il loro punto di vista attraverso considerazioni speciali che possono venir distinte dai fatti delle dipendenze funzionali o teleologiche, fatti che moltissimi biologi non esitano ad accettare. Dal momento che la parola "teleologia" è ambigua si eviterebbero senza dubbio confusioni ed equivoci se tale parola fosse eliminata dal vocabolario della biologia. I biologi però la usano, e affermano di dare una spiegazione teleologica quando, per esempio, spiegano che la funzione del canale digerente nei vertebrati è quella di preparare le sostanze ingerite per il loro assorbimento nel flusso sanguigno. È però importante rilevare che quando i biologi adottano un linguaggio teleologico essi non stanno necessariamente commettendo l'errore di attribuire alla natura situazioni umane.

Assumeremo perciò che gli enunciati teleologici (o funzionali) in biologia di norma non asseriscono né presuppongono negli oggetti in discussione scopi, fini, obiettivi o mete, vuoi manifesti vuoi latenti. In effetti sembra fuor di dubbio che i biologi in generale negherebbero il fatto che essi postulino alcun fine in vista consapevole o implicito, anche quando adottano nelle loro analisi funzionali parole come "scopo" — ad esempio quando si dice che lo "scopo" (cioè la funzione)

dei reni nel maiale è quello di eliminare vari prodotti di scarto dal flusso sanguigno dell'organismo. Noi adotteremo invece come segno caratteristico di un enunciato teleologico in biologia e come carattere che distingue tali enunciati da quelli non teleologici, il presentarsi nel primo caso ma non nel secondo di locuzioni tipiche come "la funzione di", "lo scopo di", "a motivo di", "al fine di" e simili — più in generale la presenza di espressioni che significhino un nesso mezzo-fine.

Nondimeno, — malgrado il carattere *prima facie* distintivo delle spiegazioni teleologiche (o funzionali) — osserveremo per prima cosa che esse possono venir riformulate, senza che si perda il contenuto asserito, per assumere la forma di spiegazioni non teleologiche, in modo che tanto le spiegazioni teleologiche quanto quelle non teleologiche diventino sostanzialmente equivalenti. A questo scopo consideriamo un enunciato tipicamente teleologico, per esempio: "la funzione della clorofilla nelle piante è quella di permettere ad esse di realizzare la fotosintesi (cioè di formare amido da anidride carbonica e da acqua in presenza della luce solare)".

Questo enunciato rende ragione della presenza della clorofilla (una certa sostanza *A*) nelle piante (in ogni elemento *S* di una classe di sistemi, ciascuno dei quali ha una certa organizzazione *C* di parti componenti e di processi). Ciò vien fatto dichiarando che, quando si forniscono ad una pianta acqua, anidride carbonica e luce solare (quando *S* è situata in un certo ambiente *E* "interno" e "esterno") essa produce amido (vi si compie un certo processo *P* che fornisce un determinato prodotto o risultato) solo se la pianta contiene clorofilla. L'enunciato solitamente porta con sé l'implicita assunzione supplementare che senza amido la pianta non può proseguire le sue attività caratteristiche, quali la crescita e la riproduzione (non può conservarsi in un certo stato *G*); per il momento però ignoreremo questa ulteriore assunzione.

Per conseguenza l'enunciato teleologico è un ragionamento in forma abbreviata così che quando se ne espliciti il contenuto, esso può venir reso approssimativamente nel modo seguente: se sono fornite di acqua, di anidride carbonica e di luce solare, le piante producono amido; se non hanno clorofilla, le piante anche se in possesso di acqua, di anidride carbonica e di luce solare, non producono amido; quindi le piante contengono clorofilla. Più in generale un enunciato teleologico della forma "la funzione di *A* in un sistema *S* con organizzazione *C* è quella di rendere possibile a *S*, in un ambiente *E*, di impegnarsi in un processo *P*" può essere formulato più esplicitamente così: Ogni sistema *S* con organizzazione *C* in un ambiente *E* si impegna in un processo *P*; se *S* con organizzazione *C* e in un ambiente *E* non dispone di *A* allora *S* non si impegna in *P*, quindi *S* con organizzazione *C* deve disporre di *A*.

Nel presente contesto non importa evidentemente indagare se le premesse contenute in questo ragionamento siano adeguatamente

garantite da valide prove. Dal momento, tuttavia, che il problema viene talora sollevato nelle discussioni sulle spiegazioni teleologiche, vale la pena di fare almeno un fuggevole cenno alla questione se la clorofilla sia realmente necessaria alle piante e se esse non potrebbero produrre amido (o altre sostanze necessarie per la loro sopravvivenza) per mezzo di qualche processo differente il quale non richieda clorofilla. Infatti, se la presenza della clorofilla non è effettivamente necessaria per la produzione di amido (o se le piante possono vivere senza il meccanismo della fotosintesi) la seconda premessa, del ragionamento suddetto — si è osservato — risulta insostenibile. Tale premessa dovrebbe allora venir modificata, e nella sua forma emendata dovrebbe asserire che la clorofilla è un elemento, in un insieme di condizioni, *sufficiente* (ma non necessario) per la produzione di amido. In tal caso, però, il nuovo ragionamento con la premessa emendata non risulterebbe valido, e la proposta spiegazione teleologica della presenza della clorofilla nelle piante non sarebbe quindi soddisfacente.

Questa obiezione è in parte ben fondata. È senza dubbio *logicamente* possibile che le piante possano conservarsi senza produrre amido, o che i processi negli organismi viventi possano produrre amido senza richiedere clorofilla. In effetti esistono piante (i funghi) che possono prosperare senza clorofilla; e in generale vi è più di un modo per "scuoiare un gatto". D'altro lato la precedente spiegazione teleologica della presenza della clorofilla nelle piante è presumibilmente connessa con gli organismi viventi che hanno certe determinate forme di organizzazione e certi modi definiti di comportamento — in breve, con le cosiddette "piante verdi". Per conseguenza, sebbene siano possibili sia astrattamente che fisicamente, organismi viventi (tanto le piante quanto gli animali) capaci di conservarsi senza processi che implicino la funzione clorofilliana non risulta tuttavia esservi prova alcuna del fatto che — tenuto conto delle limitate capacità che le piante verdi possiedono come conseguenza del loro *effettivo* modo di organizzazione — tali organismi possono vivere senza clorofilla.

Emergono così da queste considerazioni due importanti punti complementari. In primo luogo le analisi teleologiche in biologia (o in altre scienze in cui si perseguono tali analisi) non sono esplorazioni di possibilità meramente logiche, ma trattano delle effettive funzioni di componenti definiti in sistemi viventi concretamente dati. In secondo luogo, se non si vuole incorrere nel rischio di non riconoscere la possibilità di meccanismi differenti per conseguire un dato prodotto finale, e in quello di assumere inavvertitamente (e forse erroneamente) che un certo processo, riconosciuto come indispensabile in una data classe di sistemi, sia anche indispensabile in una classe più ampia, una spiegazione teleologica deve articolare con esattezza tanto il carattere del prodotto terminale quanto i tratti definienti dei sistemi che li presentano, relativamente ai quali i processi indicati sono ritenuti indispensabili.

In ogni caso, però, la precedente spiegazione teleologica della clorofilla nella sua forma estesa è semplicemente un esempio di una spiegazione che si conforma al modello deduttivo e non contiene alcuna locuzione distintiva di enunciati teleologici. Di conseguenza l'enunciato iniziale abbreviato relativo alla clorofilla sembra non asserire nulla che non sia già contenuto nell'assunzione seguente: 'le piante operano la fotosintesi solo se contengono clorofilla' o se si preferisce 'una condizione necessaria per il verificarsi della fotosintesi nelle piante è la presenza della clorofilla'. Questi ultimi enunciati non ascrivono esplicitamente una funzione alla clorofilla e in questo senso non sono perciò formulazioni teleologiche. Se questo esempio viene preso come paradigma, si ha che, quando viene ascritta una funzione ad un elemento costituente di un organismo, il contenuto dell'enunciato teleologico è pienamente espresso da un altro enunciato esplicitamente teleologico il quale asserisce semplicemente una condizione necessaria (o eventualmente necessaria e sufficiente) per il presentarsi di un certo carattere o di una certa attività dell'organismo. Alla luce di questa analisi, perciò, una spiegazione teleologica in biologia indica le *conseguenze* per un dato sistema biologico di una parte costitutiva o di un processo; la formulazione equivalente non teleologica di questa spiegazione, invece, enuncia alcune delle *condizioni* (talora ma non invariabilmente in termini fisico chimici) sotto le quali il sistema persiste nella sua caratteristica organizzazione e nelle sue caratteristiche attività. La differenza fra una spiegazione teleologica e la sua equivalente formulazione non teleologica è così paragonabile alla differenza fra il dire che Y è un effetto di X e il dire che X è una causa o una condizione di Y. In breve la differenza concerne più l'attenzione selettiva che il contenuto di ciò che si asserisce.

Questo punto può essere convalidato da un'altra considerazione. Se una spiegazione teleologica asserisce un contenuto diverso da quello di qualsiasi concepibile enunciato non teleologico, sarebbe possibile addurre procedure e prove, impiegate per fondare la prima, le quali differiscono dalle procedure e dalle prove richieste per garantire la seconda. Di fatto non risulta però che ci siano procedure e prove di questo genere. Consideriamo, per esempio, l'enunciato teleologico: 'la funzione dei leucociti nel sangue umano è quella di difendere il corpo dai microrganismi estranei'. Orbene qualsiasi possa essere la prova che garantisce questo enunciato, essa conferma anche l'enunciato non teleologico: 'se il sangue umano non contiene un numero sufficiente di leucociti, certe attività normali del corpo vengono pregiudicate' e viceversa. Se le cose stanno così, ci sono però buone ragioni per ritenere che i due enunciati non differiscono quanto al contenuto fattuale. Più in generale se, come sembra in questo caso, la prova concepibile per ogni spiegazione teleologica data è identica alla prova concepibile per una certa spiegazione non teleologica, appare inevita-

È la conclusione che quegli enunciati — anche se sono distinguibili in altri modi — non possono essere distinti rispetto a ciò che essi asseriscono.

2. La proposta equivalenza fra spiegazioni teleologiche e spiegazioni non teleologiche deve nondimeno far fronte ad un'obiezione di fondo. Molti biologi ammetterebbero forse che un enunciato teleologico *implichi* un certo enunciato non teleologico; ma alcuni di essi, in ogni modo, sono pronti a sostenere che il secondo enunciato non implica a sua volta il primo, e che per conseguenza la asserita equivalenza fra gli enunciati non è di fatto sostenibile.

La tesi secondo cui non esiste in effetti tale equivalenza può essere efficacemente introdotta nel modo seguente. Se vi fosse una tale equivalenza, non solo una spiegazione teleologica potrebbe essere sostituita da una non teleologica ma, inversamente, una spiegazione non teleologica potrebbe parimenti essere sostituita da una teleologica. Per conseguenza i consueti enunciati di leggi e le consuete teorie nelle scienze fisiche sarebbero traducibili senza modificazioni per quel che concerne il contenuto asserito — in formulazioni teleologiche. Di fatto però la moderna scienza fisica non sembra convalidare tali riformulazioni. Invero un gran numero di fisici si opporrebbe senz'altro all'introduzione di enunciati teleologici nelle loro discipline come ad un tentativo camuffato di restaurare il punto di vista della scienza greca e medioevale. Per esempio l'enunciato: 'il volume di un gas a temperatura costante varia in proporzione inversa alla sua pressione' è una tipica legge fisica, del tutto esente da connotazioni teleologiche. Se esso fosse equivalente ad un enunciato teleologico, tale enunciato (costruito sul modello dell'esempio adottato sopra come paradigmatico) suonerebbe presumibilmente così: 'la funzione di una pressione variabile in un gas a temperatura costante è quella di produrre un volume di gas che varia in proporzione inversa'; o forse: 'ogni gas a temperatura costante sotto l'effetto di una pressione variabile altera il suo volume al fine di mantenere costanti il prodotto della pressione per il volume'. La maggioranza dei fisici però considererebbe senza dubbio queste formulazioni assurde o nel migliore dei casi ingannevoli. Per conseguenza, se nessun enunciato teleologico è in grado di tradurre correttamente una legge della fisica, sembra difficilmente sostenibile la tesi secondo cui per ogni enunciato teleologico può esserne costruito uno non teleologico logicamente equivalente. Deve esistere perciò — così conclude l'obiezione — qualche importante differenza fra enunciati teleologici e non teleologici che la discussione fino a questo punto non è riuscita a rendere esplicita.

La difficoltà ora esposta non può essere liquidata facilmente. Per valutarla adeguatamente dobbiamo considerare il tipo di argomenti per i quali sono di solito intraprese delle analisi teleologiche, e per

i quali le spiegazioni teleologiche non vengono ostensibilmente respinte per questioni di principio.

a) L'atteggiamento dei fisici verso le formulazioni teleologiche nelle loro discipline è senza dubbio quello emerso nell'obiezione testé riferita. Nondimeno questo fatto non è completamente decisivo per il punto in questione. Sono da farsi in proposito due rilievi tendenti a indebolirne l'efficacia critica.

In primo luogo, non è interamente esatto sostenere che le scienze fisiche non si servono mai di formulazioni che hanno almeno l'apparenza di enunciati teleologici. Come è ben noto, alcune leggi e teorie fisiche sono spesso espresse nella cosiddetta forma "isoperimetrica" o "variazionale" invece che nella forma più consueta delle equazioni numeriche o differenziali. Quando sono espresse in questo modo le leggi e le teorie assomigliano fortemente a formulazioni teleologiche e sono state di fatto assunte frequentemente per esprimere un ordinamento teleologico di eventi e di processi. Per esempio, una legge elementare di ottica afferma che l'angolo di incidenza di un raggio di luce riflesso da una superficie è uguale all'angolo di riflessione. Questa legge, però, può anche venire espressa affermando che un raggio di luce procede in modo tale che la lunghezza del suo effettivo percorso (dalla sorgente alla superficie riflettente fino al punto terminale) risulti il minimo di tutti i percorsi possibili. Più in generale una parte considerevole della teoria fisica — sia classica che contemporanea — può essere enunciata nella forma di principi "estremali". Questi principi asseriscono che l'effettivo sviluppo di un sistema procede in modo tale da minimizzare e massimizzare una certa grandezza che rappresenta le configurazioni possibili del sistema.¹

La scoperta che i principi della meccanica possono subire tali formulazioni estremali era un tempo considerata come una prova dell'operare di un piano divino nella natura. Questa concezione assunse rilievo con Maupertuis, un pensatore del XVIII secolo che fu forse il primo a formulare la meccanica in forma variazionale; tale concezione fu largamente accettata nei secoli XVIII e XIX. Siffatte interpretazioni teleologiche dei principi estremali sono ora ritenute quasi universalmente del tutto gratuite; e i fisici odierni — salvo rare eccezioni — non accettano la vecchia tesi secondo cui i principi estremali implicano l'assunzione di un piano e di un fine che anima i processi fisici.

¹ Cfr. A. D'ABRO, *The Decline of Mechanism in Modern Physics*, New York, 1939, c. 18; ADOLF KNESER, *Das Prinzip der kleinsten Wirkung*, Leipzig, 1928; WOLFGANG YOURGRAU e STANLEY MANDELSTAM, *Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory*, London, 1955.

Si può di fatto mostrare che — quando siano soddisfatte certe condizioni molto generali — per tutte le leggi quantitative può essere data una formulazione "estremale".

L'uso di tali principi nella fisica mostra nondimeno che la struttura dinamica dei sistemi fisici può venir formulata in modo da dare un rilievo centrale all'effetto degli elementi costituenti e dei processi sussidiari su certe proprietà globali del sistema preso come un tutto. Se i fisici respingono il linguaggio teleologico nelle loro discipline ciò non avviene perché essi considerino le nozioni teleologiche, intese in questo senso, come estranee al loro compito. La loro avversione scaturisce in qualche misura dal timore che, salvo quando un tale linguaggio teleologico viene reso rigorosamente preciso attraverso l'uso di formulazioni quantitative, esso si presti a venire malinteso come se denotasse l'operare di fini.

In secondo luogo, le scienze fisiche, diversamente dalla biologia in generale non concernono una classe relativamente speciale di corpi organizzati, e non investigano le condizioni che tendono a far persistere un qualche sistema fisico selezionato invece di altri. Quando un biologo assegna ad un rene una funzione, egli tacitamente assume che ciò che viene messo in discussione è il contributo del rene alla conservazione dell'animale vivente; e ignora, ritenendolo irrilevante per il suo interesse primario, il contributo del rene alla conservazione di qualsiasi altro sistema di cui esso possa anche essere un costituente. Un fisico invece tende generalmente a discutere gli effetti della radiazione solare sopra una larga varietà di enti ed è restio ad assegnare una "funzione" alla radiazione del Sole perché nessun sistema fisico di cui il Sole sia parte ha per lui un interesse maggiore di un qualsiasi altro sistema. E analogamente per la legge che mette in relazione la pressione e il volume di un gas: se un fisico considera con sospetto la formulazione di questa legge in linguaggio funzionale e teleologico, ciò accade perché (in aggiunta alle ragioni che sono state o che saranno discusse) egli non considera affar suo assegnare una speciale importanza — sia pure attraverso un vago suggerimento — ad una conseguenza, piuttosto che ad un'altra, del variare della pressione in un gas.

b) La discussione però a questo punto può venir accusata, non senza giustificazione, di ingenuità se non di futilità, in base al fatto che si è ignorato completamente il punto fondamentale cioè il carattere "diretto ad uno scopo" dei sistemi organici. È in quanto gli esseri viventi presentano in gradi diversi strutture e attività adattative e regolative, mentre non le presentano i sistemi studiati nelle scienze fisiche — così frequentemente si sostiene che le spiegazioni teleologiche sono peculiarmente pertinenti ai sistemi biologici ma non a quelli fisici. Così, dal momento che il sistema solare, o qualsiasi altro sistema di cui il Sole fa parte, non tende a persistere in un qualche schema integrato di attività di fronte ai mutamenti ambientali, e dal momento che i costituenti del sistema non subiscono assestamenti reciproci tali da conservare questo schema in una relativa indi-

pendenza dell'ambiente è assurdo ascrivere una qualche funzione al Sole e alle radiazioni solari. Né il fatto che la fisica possa enunciare alcune sue teorie nella forma di principi estremali — così prosegue l'obiezione — minimizza le differenze fra sistemi biologici e sistemi puramente fisici. È vero che un sistema fisico si sviluppa in modo tale da minimizzare o massimizzare una certa grandezza che rappresenta una proprietà del sistema inteso come un tutto; i sistemi fisici però sono organizzati per conservare, di fronte a considerevoli alterazioni nel loro ambiente, certi particolari valori estremali di tali grandezze, o per evolvere sotto condizioni largamente variabili verso la realizzazione di certi particolari valori di tali grandezze.

I sistemi biologici, invece, possiedono effettivamente un'organizzazione siffatta; un solo esempio (che potrebbe essere seguito da un numero indefinito di altri) può chiaramente mostrarlo. Il corpo umano conserva molte delle sue caratteristiche in uno stato relativamente stabile (o omeostasi) per mezzo di complessi ma coordinati processi fisiologici. Così la temperatura interna del corpo deve mantenersi abbastanza costante altrimenti esso verrebbe irrimediabilmente danneggiato. Di fatto la temperatura dell'essere umano normale varia durante una giornata soltanto da circa 36,3 °C a 37,3 °C, e non può scendere molto al di sotto di 24 °C o salire molto al di sopra di 43,4 °C, senza danno permanente per il corpo. Però, la temperatura dell'ambiente esterno può variare molto più ampiamente di questa; e risulta chiaro in base a elementari considerazioni fisiche che le attività caratteristiche del corpo sarebbero profondamente pregiudicate o ridotte se esso non fosse in grado di compensare tali mutamenti ambientali. Il corpo tuttavia è capace di fare questo; e per conseguenza le sue attività normali possono continuare, in relativa indipendenza dalla temperatura dell'ambiente — purché, naturalmente, la temperatura ambientale non cada al di fuori di un certo intervallo di grandezze. Il corpo raggiunge questa omeostasi per mezzo di alcuni meccanismi, che funzionano come una serie di difese contro le oscillazioni della temperatura interna. Così, la ghiandola tiroide è una fra le diverse che controllano l'indice del metabolismo basale del corpo (che è la misura del calore prodotto dalla combustione in varie cellule e in vari organi); il calore irradiato o trasmesso per conduzione attraverso la pelle dipende dalla quantità di sangue che scorre nei vasi periferici — quantità che è regolata dalla dilatazione o contrazione di quei vasi; l'intensità della respirazione e della traspirazione determinano la quantità di umidità che evapora e influenzano così la temperatura interna; anche l'adrenalina nel sangue stimola la combustione interna e la sua secrezione è influenzata da mutamenti della temperatura esterna; e le contrazioni muscolari automatiche che il brivido comporta sono una fonte supplementare di calore interno. Esistono così meccanismi fisiologici nel corpo che preservano automaticamente la

sua temperatura interna, malgrado le condizioni di disturbo presenti nell'ambiente interno ed esterno al corpo.²

Tre problemi distinti, frequentemente confusi, vengono sollevati da tali fatti della organizzazione biologica: 1) è possibile formulare la struttura distintiva dei sistemi "diretti a uno scopo", in termini generali ma abbastanza precisi in modo tale però che l'analisi risulti neutra rispetto all'esistenza di fini o all'operare dinamico degli scopi come strumenti della propria realizzazione. 2) il fatto, se si tratta di un fatto, che le spiegazioni teleologiche vengono abitualmente usate solo in connessione con sistemi "diretti a uno scopo" costituisce una prova adeguata per decidere il problema se una spiegazione teleologica sia equivalente a una non teleologica? 3) è possibile spiegare in termini puramente fisico chimici — cioè esclusivamente nei termini delle leggi e delle teorie della fisica e chimica moderne — le attività dei sistemi biologici? Questa terza domanda non ci riguarderà per il momento, dovremo però tornarvi sopra in seguito; le altre due invece esigono immediata attenzione.

a) Sin dall'antichità sono stati fatti molti tentativi di costruire macchine e sistemi fisici che imitano il comportamento degli organismi viventi in un aspetto o in un altro. Nessuno di questi tentativi ha avuto interamente successo, infatti non è stato possibile sinora fabbricare in laboratorio e per mezzo di materiale inorganico alcun dispositivo che si comporti pienamente come un essere vivente. Nondimeno è stato possibile costruire sistemi fisici che risultano autoconservantisi e autoregolantisi in relazione ad alcuni dei loro tratti distintivi e che perciò assomigliano agli organismi viventi almeno per questa importante caratteristica. In un'età in cui i servomeccanismi (regolatori per motori, termostati, piloti automatici di aerei, calcolatori elettronici, dispositivi antiaerei con controllo radar ed altri) non suscitano più meraviglia e nella quale il linguaggio ciberneticico e la "retroazione negativa" sono divenuti di gran moda, l'attribuzione di un comportamento "diretto ad uno scopo" a sistemi puramente fisici non può certamente essere respinta come un'assurdità. Che degli "scopi" possano altresì essere attribuiti a tali sistemi fisici, come alcuni interpreti della cibernetica sostengono³ può essere dubbio, per quanto la questione sia in larga misura di natura semantica; e in ogni caso quest'ultimo problema non è pertinente al presente contesto

² Cfr. WALTER B. CANNON, *The Wisdom of the Body*, New York, 1932, trad. it. a cura di L. Tofossi, Milano, 1956, c. 12.

³ Cfr. ARTHUR ROSENBLUETH, NORBERT WIENER, JULIAN BINGELOW, *Behavior Purpose and Teleology*, "Philosophy of Science", vol. 10 (1943); NORBERT WIENER, *Cybernetics*, New York, 1948; trad. it. a cura di O. Beghelli, Milano, 1953; A. M. TURING, *Computing Machines and Intelligence*, "Mind", vol. 59 (1950); RICHARD TAYLOR, *Comments on a Mechanistic Conception of Purposefulness*, "Philosophy of Science", vol. 17 (1950) e la risposta di Rosenblueth e Wiener con la replica di Taylor nello stesso volume.

della discussione. Inoltre, è degno di nota il fatto che la possibilità di costruire sistemi fisici autoregolantisi non costituisce, per se stessa, una prova che le attività degli organismi viventi possano essere spiegate in termini esclusivamente fisico chimici. Nondimeno il fatto che tali sistemi siano stati costruiti suggerisce proprio che non esiste una netta distinzione fra le organizzazioni teleologiche spesso considerate come specifiche degli esseri viventi, e le organizzazioni "dirette a una meta" di molti sistemi fisici. Come minimo, tale fatto offre un forte appoggio a chi presuma che le attività teleologicamente organizzate degli organismi viventi e delle loro parti possano venire analizzate senza esigere la postulazione di fini o mete come agenti dinamici.

Partendo dall'esempio della omeostasi della temperatura del corpo umano, formuliamo ora in termini generali la struttura formale dei sistemi che possiedono un'organizzazione diretta a una meta.⁴ Il tratto caratteristico di tali sistemi è che essi continuano a manifestare un certo stato o proprietà G (o che essi mostrano una persistenza di sviluppo "nella direzione" che perviene a G) di fronte ad una classe relativamente estesa di cambiamenti nel loro ambiente esterno o in alcune delle loro parti interne — cambiamenti che, se non compensati da una modificazione interna del sistema, porterebbero alla scomparsa di G (o ad una alterazione della direzione di sviluppo dei sistemi). Lo schema astratto di organizzazione di tali sistemi può venir formulato con notevole precisione, anche se nelle pagine seguenti potremo darne soltanto un enunciato sommario.

Sia S un certo sistema, E il suo ambiente esterno, e G un certo stato, proprietà o modo di comportamento che S possiede o è in grado di possedere in opportune condizioni. Si assuma per il momento (questa assunzione verrà alla fine abbandonata) che E resti costante in tutti i suoi aspetti importanti, di modo che la sua influenza sul presentarsi di G in S possa venire trascurata. Si supponga pure che S sia analizzabile in una struttura di parti o di processi, tali che le attività di un certo numero di essi (o eventualmente tutti) siano causalmente rilevanti per il presentarsi di G . Per semplicità, si assuma che tali parti siano proprio tre, ciascuna suscettibile di porsi in diverse condizioni o stati distinti. Lo stato di ciascuna parte in un qualsiasi momento dato sarà rappresentato dai predicati ' A_x ', ' B_y ' e ' C_z ' rispettivamente, con valori numerici degli indici per indicare i differenti stati particolari delle parti corrispondenti. Per conseguenza, ' A_x ', ' B_y ', ' C_z ' sono variabili di stato, sebbene non necessariamente variabili numeriche, giacché possono non essere disponibili delle misure numeriche per rappresentare gli

⁴ La seguente discussione si avvale di G. SOMMERHOFF, *Analytical Biology*, London, 1950; v. anche J. LOTKA, *Elements of Physical Biology*, New York, 1926, c. 25; W. ROSS ASHBY, *Design for a Brain*, London, 1953, e *An Introduction to Cybernetics*, London, 1956; e R. B. BRATTHWAITE, *Scientific Explanation*, Cambridge, Engl., 1954; trad. it. a cura di G. Jesurum, Milano, 1966.

stati delle parti; e lo stato di S che è causalmente rilevante per G in ogni dato istante verrà così espresso da una particolarizzazione della matrice $'(A_x B_y C_z)'$. Le variabili di stato possono, però, essere molto complesse nella forma — per esempio $'A_x'$ può rappresentare lo stato dei vasi sanguigni periferici nel corpo umano in un dato istante — e può trattarsi tanto di coordinate individuali quanto di coordinate statistiche. Allo scopo però di evitare complicazioni inutili, supporremo che, qualunque sia la natura delle variabili di stato relativamente agli stati che esse rappresentano, S risulta un sistema deterministico: gli stati di S variano in modo tale che, se S è nello stesso stato in due momenti distinti qualunque, anche gli stati corrispondenti di S dopo intervalli di tempo eguali a partire da quei momenti, saranno gli stessi.

Dovrà pure essere resa esplicita un'ulteriore importante assunzione generale. A ciascuna variabile di stato può essere assegnato un "valore" particolare qualunque, per caratterizzare uno stato, purché tale valore sia compatibile con il carattere noto della parte di S il cui stato è rappresentato dalla variabile. In effetti, perciò, i valori di $'A_x'$ devono cadere entro una certa classe ristretta K_A ; ed esistono classi analoghe K_B e K_C per tutti i valori ammissibili delle altre due variabili di stato. La ragione di queste restrizioni risulterà chiara da un esempio. Se S è il corpo umano, e $'A_x'$ indica il grado di dilatazione dei vasi sanguigni periferici, è ovvio che questo grado non può superare un certo valore massimo; infatti sarebbe assurdo supporre che i vasi sanguigni possano avere un diametro medio, di 150 cm, per esempio. I possibili valori di una variabile di stato *in un dato istante* saranno invece assunti come indipendenti dai possibili valori delle altre variabili di stato *in quell'istante*. Questa assunzione non deve essere malintesa. Essa non asserisce che il valore di una variabile in un certo istante è indipendente dai valori delle altre variabili in qualche *altro* istante; stipula semplicemente che il valore di una variabile in un certo istante specifico non è funzione dei valori delle altre variabili *in quello stesso istante*. L'assunzione è quella normalmente fatta per le variabili di stato, e una delle ragioni per cui viene introdotta è di evitare coordinate di stato ridondanti. Per esempio, nella meccanica classica le variabili di stato sono le coordinate della posizione e del momento di una particella in un istante. Per quanto in generale la posizione di una particella in un istante dipenda dal suo momento (e posizione) in un certo istante *precedente*, la posizione in un dato istante non è funzione del momento *in quel dato istante*. Se la posizione fosse una tale funzione del momento, è chiaro che lo stato di una particella nella meccanica classica potrebbe essere specificato da una sola variabile di stato (il momento), sicché il riferimento alla posizione diverrebbe superfluo. Nella presente discussione, noi assumiamo analogamente che nessuna delle variabili di stato sia eliminabile, per cui qualunque combinazione di valori simultanei delle variabili di stato dà luogo ad una particolariz-

zazione ammissibile della matrice $'(A_x B_y C_z)'$; purché i valori delle variabili appartengano rispettivamente alle classi K_A , K_B , e K_C . Questo equivale a dire che, a parte quest'ultima clausola, lo stato di S , che per stipolazione è causalmente rilevante per G , deve venire analizzato in modo che le variabili di stato adoperate per descrivere lo stato in un dato istante risultino reciprocamente indipendenti l'una dall'altra.

Si supponga ora che se S è nello stato $(A_0 B_0 C_0)$ in un certo istante iniziale, allora S possiede la proprietà G , o in S si verificheranno una serie di cambiamenti in conseguenza dei quali S possiederà G in un certo istante successivo. Chiamiamo un tale stato iniziale di S uno "stato causalmente efficace rispetto a G " o per brevità un " G -stato". Non ogni possibile stato di S è necessariamente un G -stato, infatti una delle parti causalmente rilevanti di S può in un dato istante trovarsi in un certo stato tale che *nessuna* combinazione di possibili stati delle altre parti dia luogo a un G -stato per S . Così supponiamo che S sia il corpo umano, G la proprietà di avere una temperatura che sta fra 36,3 e 37,3 °C, A_x sia di nuovo lo stato dei vasi sanguigni periferici, B_y lo stato della ghiandola tiroide e C_z quello delle ghiandole surrenali. Può accadere che B_y assuma un valore (per es. corrispondente ad una intensa iperattività) tale che G non sarà realizzato per nessun possibile valore di A_x e C_z , rispettivamente. È naturalmente pensabile che nessun possibile stato di S sia un G -stato, cosicché di fatto G non sia mai realizzato in S . Per esempio, per S è il corpo umano e G la proprietà di avere una temperatura interna che sta fra 65 e 70 °C, allora non esiste alcun G -stato per S . Può invece accadere che più di uno fra i possibili stati di S risulti un G -stato. Ma se esiste più di un G -stato possibile allora (dal momento che S è per assunzione un sistema deterministico) quello stato che viene realizzato in un dato istante è univocamente determinato dallo stato effettivo di S in un qualche istante precedente. Il caso in cui esista più di un possibile G -stato per S è particolarmente importante per la presente discussione, ed ora dovremo considerarlo più da vicino.

Assumiamo ancora una volta che in un certo istante iniziale t_0 il sistema S si trovi nel G -stato $(A_0 B_0 C_0)$. Supponiamo, però, che in S si verifichi un cambiamento tale da causare come conseguenza una variazione di A_0 , con il risultato che in un istante t_1 susseguente a t_0 la variabile di stato $'A_x'$ assuma qualche altro valore. Il valore che avrà in t_1 dipenderà in generale dai particolari mutamenti che hanno avuto luogo in S . Noi assumeremo, però, che S continui ad essere in un G -stato nell'istante t_1 , purché i valori di $'A_x'$ in t_1 siano compresi in una certa classe K_A' (sottoclasse di K_A) che contiene più di un elemento, e purché abbiano luogo anche certi ulteriori cambiamenti nelle altre variabili di stato. Per fissare le nostre idee, supponiamo che A_1 e A_2 siano i soli possibili elementi di K_A' ; e assumiamo inoltre che né $(A_1 B_0$

C_0) né ($A_2 B_0 C_0$) siano G-stati. In altre parole, se A_0 fosse trasformato in A_3 (elemento di K_A ma non di K_A'), S non sarebbe più un G-stato; ma quand'anche il nuovo valore di A_x cadesse entro K_A' , se questo fosse il solo cambiamento in S il sistema non sarebbe più in un G-stato nell'istante t_1 . Assumiamo però che S sia così costituito che se A_0 è indotto a variare in modo che il valore di ' A_x ' nel tempo t_1 cada entro K_A' , si verificheranno allora variazioni di compenso nei valori di alcune o di tutte le altre variabili di stato per cui S continui ad essere in un G-stato.

Questi ulteriori cambiamenti sono per stipulazione del tipo seguente. Se, in concomitanza con la variazione in A_0 i valori di ' B_y ' e ' C_z ' nell'istante t_1 cadono rispettivamente entro certe classi K_B' e K_C' (dove naturalmente K_B' è una sottoclasse, non necessariamente propria di K_B e K_C' una sottoclasse di K_C) allora ad ogni valore di K_A' corrisponde un'unica coppia di valori, uno dei cui elementi appartiene a K_B' e l'altro a K_C' , tali che per quei valori S continua ad essere in un G-stato nell'istante t_1 . Queste coppie di valori possono essere considerate elementi di una certa classe K_{BC} . Se invece i mutati valori di ' B_y ' e ' C_z ' non fossero accompagnati dalle variazioni indicate nel valore di ' A_x ', il sistema S non sarebbe più in un G-stato all'istante t_1 . Di conseguenza adottando la notazione ora introdotta se nell'istante t_1 le variabili di stato di S hanno valori tali che due di esse sono elementi di una coppia appartenente alla classe K_{BC}' mentre il valore della terza variabile non è il corrispondente elemento in K_A' , allora S non è in un G-stato. Per esempio, supponiamo che, quando A_0 si trasforma in A_1 , il G-stato iniziale ($A_0 B_0 C_0$) sia trasformato nel G-stato ($A_1 B_1 C_1$) ma che ($A_0 B_1 C_1$) non sia un G-stato; e supponiamo altresì che, quando A_0 si trasforma in A_2 , il G-stato iniziale trasformato nel G-stato ($A_2 B_1 C_2$), mentre ($A_0 B_1 C_2$) non è un G-stato. In questo esempio K_A' è la classe (A_1, A_2); K_B' è la classe (B_1); K_C' è la classe (C_1, C_2); e K_{BC}' è la classe delle coppie [(B_1, C_1), (B_1, C_2)] dove A_1 corrisponde alla coppia (B_1, C_1) e A_2 alla coppia (B_1, C_2).

Consideriamo ora insieme questi diversi punti e introduciamo alcune definizioni. Assumiamo S come un sistema che soddisfa alle seguenti condizioni: 1) S può essere analizzato in un insieme di parti correlate o di processi, un certo numero dei quali (per es. tre, cioè A, B e C) sono causalmente rilevanti per il presentarsi in S di qualche proprietà o modo di comportamento G . Lo stato di S che è causalmente rilevante per G può venire specificato in qualunque istante assegnando valori ad un insieme di variabili di stato ' A_x ', ' B_y ', ' C_z '. I valori delle variabili di stato per qualunque dato istante possono venire assegnati indipendentemente uno dall'altro; ma i possibili valori di ciascuna variabile sono ristretti, in virtù della natura di S , a certe classi di valori rispettivamente K_A, K_B e K_C . 2) Se S è in un G-stato all'istante iniziale dato t_0 , compreso entro un certo

intervallo di tempo T , una variazione in una qualunque delle variabili di stato farà in generale uscire S dal G-stato. Assumiamo che abbia inizio una variazione in una delle variabili di stato (per es. il parametro ' A ') e supponiamo che di fatto i possibili valori del parametro all'istante t_1 compreso nell'intervallo T ma posteriore a t_0 cadano in una certa classe K_A' , con la clausola che se questo fosse il solo cambiamento nello stato di S il sistema uscirebbe dal suo G-stato. Chiamiamo questo cambiamento iniziale una 'variazione primaria' in S . 3) Però, le parti A, B , e C di S sono così connesse che, quando si verifica la variazione primaria in S , pure i restanti parametri variano e di fatto i loro valori nell'istante t_1 cadono rispettivamente in certe classi K_B' e K_C' . Questi cambiamenti indotti in B e C danno così luogo ad uniche coppie di valori per i loro parametri in un istante t_1 — le quali coppie sono elementi di una classe K_{BC}' . Se questi ultimi cambiamenti fossero i soli nel G-stato iniziale di S , e non fossero accompagnati dalla variazione primaria indicata in S , il sistema non sarebbe in un G-stato all'istante t_1 . 4) Di fatto, però, gli elementi di K_A' e di K_{BC}' si corrispondono biunivocamente, in modo che quando S è in uno stato specificato da questi valori, corrispondenti delle variabili di stato, il sistema è in un G-stato all'istante t_1 . Chiamiamo i cambiamenti nello stato di S indotti dalla variazione primaria e rappresentati dalle coppie di valori in K_{BC}' le "variazioni adattative" di S rispetto alla variazione primaria di S (vale a dire rispetto ai possibili valori del parametro ' A ' in K_A'). Infine, quando un sistema S soddisfa tutte queste assunzioni per ogni coppia di istanti rispettivamente iniziale e susseguente nell'intervallo T , le parti di S causalmente rilevanti per G saranno dette "direttamente organizzate nell'intervallo di tempo T in rapporto a G " — o più in breve "direttamente organizzate" se il riferimento a G e T può essere dato per scontato.

Questa discussione dei sistemi direttamente organizzati è stata basata su parecchie assunzioni semplificatrici. L'analisi, però, può essere prontamente generalizzata per un sistema che richieda l'uso di un numero qualunque di variabili di stato (incluse quelle numeriche), per cambiamenti nello stato di un sistema che abbiano avuto inizio in più di una delle parti causalmente rilevanti per esso e per serie sia continue che discrete di transizioni da un G-stato di un sistema ad un altro.⁵ In effetti, non è difficile sviluppare entro questo contesto di analisi la nozione di sistema che presenta comportamenti autoregolativi rispetto a parecchi G nello stesso istante, oppure rispetto a G

⁵ Quando si assumono coordinate di stato numeriche è possibile formulare le condizioni per un sistema direttamente organizzato nel modo seguente:

Sia S un sistema, G un tratto caratteristico di S e x_1, x_2, \dots, x_n le variabili di stato per G . Si stipula che tali variabili siano funzioni indipendenti e continue del tempo; e gli indici in alto indicheranno il loro valore in un qualunque istante dato t .

a) Se S è un sistema deterministico rispetto a G , lo stato di S all'istante t è uni-

differenti (e persino incompatibili) in istanti diversi, rispetto a un insieme di G che costituisce una gerarchia sulla base della postulazione di una qualche scala di "importanza relativa", o piú in generale, un insieme di G i cui elementi cambiano in relazione al tempo e alle circostanze. A parte però la complessità, da tali estensioni dell'analisi non si otterrebbe nulla che abbia un interesse immediato; e le defi-

vocamente determinato dallo stato di S in un qualche istante precedente t_0 . Quindi

$$\begin{aligned} x_1^t &= f_1(x_1^{t_0}, \dots, x_n^{t_0}, t - t_0) \\ x_2^t &= f_2(x_1^{t_0}, \dots, x_n^{t_0}, t - t_0) \\ x_n^t &= f_n(x_1^{t_0}, \dots, x_n^{t_0}, t - t_0) \end{aligned}$$

dove gli f sono funzioni ad un valore dei loro argomenti. Le loro derivate prime rispetto al tempo sono anche esse funzioni ad un valore dei loro argomenti e di nessun'altra funzione del tempo.

b) Dal momento che lo speciale carattere di S impone restrizioni al valore della variabile di stato, i valori di ciascuna variabile ' x_i ' cadranno entro un intervallo determinato da una coppia di numeri a_i e b_i , vale a dire:

$$a_i \leq x_i \leq b_i$$

dove $i \leq 1, 2, \dots, n$, o alternativamente

$$x_i \in \Delta x_i$$

dove Δx_i è un certo intervallo definito e ' ϵ ' è l'usuale simbolo di appartenenza per le classi.

c) Se S è in un G -stato in un dato istante t compreso entro un dato periodo di tempo T , la variabile di stato dovrà soddisfare un insieme di condizioni o equazioni. Che S sia in un G -stato all'istante t può venir espresso imponendo che:

$$\begin{aligned} g_1(x_1^t, \dots, x_n^t) &= 0 \\ g_r(x_1^t, \dots, x_n^t) &= 0 \end{aligned}$$

dove ogni g_j ($j = 1, 2, \dots, r$) è una funzione differenziabile rispetto ad ognuna delle variabili di stato e $r < n$.

d) I valori di ciascuna variabile di stato ' x_i ' che soddisfa queste equazioni definiti in un G -stato di S cadono entro certi intervalli ristretti:

$$a_i \leq a_i^G \leq x_i^t \leq b_i^G \leq b_i$$

o alternativamente:

$$x_i^t \in \Delta x_i^G$$

dove Δx_i^G cade nell'intervallo Δx_i .

e) Si assume che S sia in un G -stato nell'istante iniziale t_0 , durante il periodo T e che abbia luogo una variazione del valore di una certa variabilità di stato ' x_k ', tale che nell'istante t posteriore a t_0 in T , il suo valore sia x_k^t . La condizione in base alla quale questa variazione conserva G è che per ogni funzione g_j :

$$\frac{\partial g_j}{\partial x_k^{t_0}} = \frac{\partial g_j}{\partial x_1^t} \frac{\partial x_1^t}{\partial x_k^{t_0}} + \frac{\partial g_j}{\partial x_2^t} \frac{\partial x_2^t}{\partial x_k^{t_0}} + \dots + \frac{\partial g_j}{\partial x_n^t} \frac{\partial x_n^t}{\partial x_k^{t_0}} = 0.$$

f) Il sistema S è direttamente organizzato rispetto a G durante T se, quando hanno luogo tali variazioni che conservano G in una qualunque variabile di stato ' x_i ', ci sono variazioni di compenso in una o in piú delle altre variabili di stato. Per conseguenza deve esistere almeno una funzione g tale che nelle equazioni a derivata parziale sopra menzionata almeno due degli addendi non siano nulli, il che equivale a dire che esistono almeno due addendi in una o piú di queste equazioni tali che

$$\frac{\partial g_j}{\partial x_i^t} \frac{\partial x_i^t}{\partial x_k^{t_0}} \neq 0.$$

nizioni schematiche e non completamente generali che sono state presentate saranno comunque sufficienti ai nostri scopi.

Risulterà in ogni caso chiaro dalla precedente discussione che se S è direttamente organizzato, la persistenza di G è indipendente in un senso importante dalle variazioni in qualunque delle parti di S causalmente rilevanti, purché queste variazioni non superino certi limiti. Infatti sebbene il verificarsi di G in S dipenda per ipotesi dal fatto che S si trovi in un G -stato, e perciò dallo stato delle parti causalmente rilevanti di S , un'alterazione nello stato di una di queste parti può essere compensata da cambiamenti indotti in una o piú delle altre parti causalmente rilevanti, in modo da mantenere S nel G -stato assunto. Il carattere *prima facie* distintivo dei cosiddetti sistemi "diretti ad uno scopo" o teleologici viene così formulato per mezzo delle condizioni enunciate per un sistema direttamente organizzato. La precedente analisi ha perciò mostrato che la nozione di sistema teleologico può venir esplicita in una maniera che non richiede l'adozione della teleologia come una categoria fondamentale e inanalizzabile. Quello che può essere chiamato il "grado di organizzazione direttiva" di un sistema, o eventualmente il "grado di persistenza" di qualche tratto caratteristico del sistema, può venire reso esplicito anche nei termini dell'analisi precedente. Infatti la proprietà G è conservata in S (ovvero S persiste in quel suo sviluppo che conduce a G) nella misura in cui il dominio K_A' delle possibili variazioni primarie è associato con quello delle variazioni di compenso indotte K_{BC}' (vale a dire le variazioni adattative) tali che S viene mantenuto nel suo G -stato. Quanto piú esteso è il dominio K_A' associato con tali variazioni di compenso tanto maggiore è la persistenza di G indipendentemente dalle variazioni nello stato di S . Di conseguenza sulla base dell'assunzione secondo cui è possibile specificare una misura per il dominio K_{BC}' , il "grado dell'organizzazione direttiva" di S rispetto alle variazioni del parametro di stato ' A ' potrebbe essere definito come la misura di questo dominio.

Possiamo ora abbandonare l'ipotesi che l'ambiente esterno E non abbia influenza su S . Lasciando cadere questa assunzione, però noi semplicemente complichiamo l'analisi, senza introdurre niente di nuovo in essa. Supponiamo infatti che ci sia in E qualche fattore che è causalmente rilevante per il verificarsi di G in S , e che il suo stato in un istante qualunque possa essere fissato per mezzo di qualche forma determinata della variabile di stato ' F_w '. Allora lo stato del sistema ampliato S (comprendente tanto S quanto E) che è causalmente rilevante per il verificarsi di G in S è specificato da una qualche forma determinata della matrice ' $(A_x B_y C_z F_w)$ ', e la discussione procede come prima. Il caso in cui una variazione entro una qualunque delle parti interne di S produca una qualsiasi variazione significativa nei fattori ambientali, non è però quello generale. Quanto avviene solitamente è

che i fattori ambientali variano in maniera del tutto indipendente dalle parti interne; tali fattori non subiscono variazioni che compensino i cambiamenti nello stato di S ; e mentre un gruppo limitato di cambiamenti in essi può venir compensato da cambiamenti in S in modo da conservare S in un qualche G -stato, la maggior parte degli stati che i fattori ambientali sono in grado di assumere non possono essere compensati da cambiamenti in S . Si è soliti, perciò, parlare del "grado di plasticità" o del "grado di adattabilità" dei sistemi organici in relazione al loro ambiente, e non viceversa. È possibile, però, definire queste nozioni senza speciale riferimento ai sistemi organici, in maniera analoga alla già proposta definizione del "grado di organizzazione direttiva" di un sistema. Così, supponiamo che le variazioni nella variabile di stato ambientale ' F ', che per assunzione sono compensate da ulteriori cambiamenti in S in modo da mantenere S in qualche G -stato, cadano tutte entro la classe K_F' . Se potesse venire ideata una misura adeguata per la grandezza di questa classe, il "grado di plasticità" di S rispetto alla conservazione di qualche G in relazione ad F potrebbe allora venire definito come eguale alla misura di K_F' .

Questo deve bastare come descrizione della struttura astratta dei sistemi teleologici o diretti ad uno scopo. L'esposizione fatta lascia deliberatamente fuori dalla discussione i meccanismi dettagliati implicati nell'attività di particolari sistemi teleologici; e assume semplicemente che tutti questi sistemi possano di principio essere analizzati in parti che sono causalmente rilevanti per la conservazione di alcuni tratti caratteristici in quei sistemi, e che stiano gli uni con gli altri e con i fattori ambientali in determinate relazioni suscettibili di essere formulate come leggi generali. La scoperta e l'analisi di tali meccanismi dettagliati è compito dell'indagine scientifica specializzata. Per conseguenza, dal momento che la spiegazione precedente tratta solo di ciò che viene assunto come struttura distintiva comune dei sistemi teleologici, essa non si pronuncia assolutamente su problemi essenziali come quello se le attività di tutti i sistemi teleologici possano venire spiegate in termini esclusivamente fisico chimici. Essa esige invece, se la spiegazione è almeno approssimativamente adeguata, una risposta positiva alla domanda se i tratti distintivi dei sistemi diretti ad uno scopo possano venir formulati senza invocare scopi e mete come agenti dinamici.

Vi è però un'ulteriore questione che deve venire brevemente discussa. La definizione di sistemi direttivamente organizzati è stata enunciata in modo tale da poter essere adoperata per caratterizzare sistemi tanto biologici quanto abiologici. È facile infatti trovare illustrazioni della definizione in entrambi i campi. Il corpo umano in relazione alla omeostasi della sua temperatura interna è un esempio preso dalla biologia; un edificio provvisto di caldaia e di termostato è un esempio

preso dalla fisico chimica. Nondimeno, per quanto la definizione non sia intesa a distinguere fra sistemi teleologici viventi e non viventi — infatti le differenze fra tali sistemi devono venire espresse in termini della loro specifica composizione materiale, delle loro caratteristiche e delle attività manifestate — essa è però intesa a dar risalto ai sistemi che hanno un carattere *prima facie* "diretto ad uno scopo" rispetto a quelli che di solito non vengono così caratterizzati. La questione perciò è in conclusione questa: se la definizione raggiunga tale obiettivo o se al contrario risulti così generale da essere soddisfatta di quasi tutti i sistemi (siano essi ordinariamente considerati o non considerati come diretti ad uno scopo).

Orbene, esistono certamente molti sistemi fisico chimici che non sono ordinariamente considerati come "diretti ad uno scopo" ma che nondimeno sembrano conformarsi alla definizione di sistemi direttivamente organizzati proposta poco sopra. Così un pendolo in quiete, un solido elastico, una corrente elettrica costante che passa attraverso un conduttore, un sistema chimico in equilibrio termodinamico, sono esempi ovvii di tali sistemi. Sembra perciò che la definizione di organizzazione direttiva — e per conseguenza la proposta analisi dei sistemi "diretti ad uno scopo" o "teleologici" — non riesca a raggiungere l'obiettivo prefissato. Due commenti, però, si rendono necessari sul punto in questione. In primo luogo, per quanto si ammetta la distinzione fra sistemi che sono diretti ad uno scopo e sistemi che non lo sono, tale distinzione è estremamente vaga, e esistono molti sistemi che non possono essere classificati in maniera definitiva come appartenenti all'un tipo o all'altro. Così, quel giocattolo meccanico da bambini che si volta indietro quando giunge all'orlo del tavolo e non cade giù perché interviene attraverso l'azione di una "antenna" una rotella prima non operante — può o non può venir considerato un sistema diretto a uno scopo? E un virus è un sistema di questo genere? E il sistema composto da individui di qualche specie biologica che hanno subito uno sviluppo evolutivo in una direzione costante (per es. lo sviluppo di corna gigantesche nell'alce maschio irlandese) si può considerare diretto ad uno scopo? Inoltre alcuni sistemi sono stati classificati come "teleologici" in un certo momento e in relazione ad un certo corpo di conoscenze, solo per essere più tardi riclassificati come "non teleologici", a causa dell'allargarsi della conoscenza della fisica dei meccanismi. "La natura non fa nulla invano" era una massima comunemente accettata nella fisica newtoniana e sulla base della dottrina dei "luoghi naturali" anche il cadere dei gravi e il salire del fumo erano considerati diretti ad uno scopo. Di conseguenza, è per lo meno una questione aperta se la distinzione corrente fra sistemi che sono diretti ad uno scopo e sistemi che non lo sono abbia invariabilmente una base oggettiva identificabile (per es. in termini di differenze fra le organizzazioni effettive di tali sistemi) e se lo stesso sistema non possa venire classificato spesso in maniere dif-

ferenti che dipendono dalla prospettiva entro la quale viene considerato o dalle assunzioni antecedenti adoperate per analizzarne la struttura.

In secondo luogo, non è affatto certo che i sistemi fisici come il pendolo in quiete che solitamente non viene considerato come diretto ad uno scopo si conformino realmente alla definizione di sistemi "direttivamente organizzati" sopra proposta. Consideriamo un pendolo semplice che inizialmente sia in quiete e che riceva in seguito un piccolo impulso (per es. da un'improvvisa folata di vento); e assumiamo che, oltre ai vincoli del sistema e alla forza di gravità, la sola forza che agisce sul pendaglio sia l'attrito dell'aria. In base alle consuete assunzioni fisiche il pendolo compirà allora delle oscillazioni armoniche con ampiezza decrescente e assumerà infine la sua posizione iniziale di equilibrio. Il sistema in questo caso è costituito dal pendolo e dalle varie forze che agiscono su di esso, mentre la proprietà G è lo stato del pendolo quando è in quiete nel punto più basso del suo arco di oscillazione. Per ipotesi, la sua lunghezza e la massa del pendaglio, la forza di gravitazione che agisce su di esso, e il coefficiente di smorzamento sono fissi, le variabili sono la forza della folata di vento che imprime il moto al pendolo, la forza che a questa si oppone e la forza che opera sul pendaglio come conseguenza dei vincoli del sistema e della presenza del campo gravitazionale. Però — e questo è il punto cruciale — queste due forze non sono indipendenti l'una dall'altra. Così, se la componente effettiva della prima ha una certa grandezza, la forza che ad essa si oppone avrà una grandezza eguale con direzione opposta. Per conseguenza, se lo stato del sistema in un dato istante fosse specificato in termini di variabili di stato che prendono come valori queste forze, tali variabili di stato non soddisferebbero una delle condizioni stipulate per le variabili dei sistemi direttivamente organizzati; infatti il valore di una di esse in un dato istante è determinato univocamente dal valore dell'altra nello stesso istante. In breve, i valori delle variabili di stato qui proposte non sono indipendenti in un qualunque istante dato.⁶ Ne consegue perciò che il pendolo semplice non è un sistema direttivamente organizzato nel senso della definizione introdotta. Inoltre, è anche possibile in una maniera analoga mostrare che numerosi altri sistemi, generalmente considerati come non teleologici non soddisfano quella definizione. Se si possa dimostrare questo per tutti i sistemi abitualmente così considerati è per generale ammissione una questione aperta. Però, dal momento che esistono almeno alcuni sistemi che non sono abitualmente caratterizzati come teleologici e che tuttavia possono venire così caratterizzati sulla

⁶ Tutto ciò può essere mostrato in maniera più analitica considerando la usuale discussione matematica del pendolo semplice. Se l è la lunghezza del pendolo semplice, m la massa del suo pendaglio, g la costante della forza gravitazionale, k il coefficiente di smorzamento dovuto alla resistenza dell'aria, t il tempo misurato a partire da un certo istante prefissato, s la distanza del pendaglio lungo la sua traiettoria dal suo punto

base di quella definizione, l'etichetta di "sistema direttivamente organizzato" il cui significato viene esplicitato da tale definizione, non si applica a qualsivoglia oggetto, e non si limita a consacrare una distinzione senza apportarvi nulla di nuovo. Esistono perciò alcuni fondamenti per sostenere che la definizione raggiunge ciò che era designata a raggiungere, e che formula la struttura astratta comunemente ritenuta distintiva dei sistemi "diretti ad uno scopo".

b) Possiamo ora sistemare molto brevemente la seconda questione; che ci accingemmo ad esaminare a pagina 420 e precisamente: se il fatto che le spiegazioni teleologiche sono solitamente proposte solo in connessione con sistemi "diretti ad uno scopo" nuoccia alla tesi secondo cui, in relazione al proprio contenuto asserito, ogni spiegazione teleologica sarebbe traducibile in una spiegazione non teleologica equivalente. La risposta è chiaramente negativa, se tali sistemi sono analizzabili come direttivamente organizzati nel senso della precedente definizione. Infatti se supponiamo che la nozione di sistema diretto ad uno scopo possa venir esplicitata nella maniera proposta, le caratteristiche che manifestamente distinguono tali sistemi da quelli non diretti ad uno scopo possono venir formulate interamente in un linguaggio non teleologico. Di conseguenza ogni enunciato sull'argomento di una spiegazione teleologica può di principio venir espresso in un linguaggio non teleologico, sicché tali spiegazioni insieme a tutte le asserzioni relative ai contesti del loro uso risultano traducibili in formulazioni non teleologiche logicamente equivalenti. Perché allora sembra strano tradurre degli enunciati fisici come la legge di Boyle in forma teleologica? La risposta è semplice, se effettivamente gli enunciati teleologici (e in particolare, le spiegazioni teleologiche) sono di norma introdotte solo

iniziale di equilibrio, l'equazione differenziale del movimento pendolare (sulla base dell'assunzione che l'ampiezza della vibrazione sia piccola) sarà

$$m \frac{d^2s}{dt^2} + k \frac{ds}{dt} + \frac{mg}{l} s = 0.$$

Se all'istante t_0 il pendolo è in quiete, tanto s_0 quanto $v_0 \left[= \left(\frac{ds}{dt} \right)_0 \right]$ saranno eguali a zero, in modo che

$$\left(m \frac{d^2s}{dt^2} \right)_0 = 0$$

vale a dire non vi sono forze non compensate che agiscono sul pendaglio.

Supponiamo ora che all'istante t_1 il pendaglio sia alla distanza s_1 con una velocità v_1 ; la forza di richiamo sarà allora:

$$\left(m \frac{d^2s}{dt^2} \right)_1 = -kv_1 - \frac{mg}{l} s_1$$

Ma una forza impulsiva F_1 comunicata al pendaglio all'istante t_1 determina univocamente la velocità v_1 e la posizione s_1 del pendaglio in quell'istante. Quindi la forza di richiamo potrà venir calcolata in quanto è determinata univocamente dalla forza impulsiva.

in connessione con oggetti che si assumono come direttivamente organizzate. La stranezza non scaturisce da alcuna differenza fra il contenuto esplicitamente asserito di una legge fisica ed il suo preteso equivalente in linguaggio teleologico. Una versione teleologica della legge di Boyle sembra strana ed inaccettabile in quanto una tale formulazione sarebbe solitamente interpretata come poggiante sull'assunzione che un gas racchiuso in un certo volume sia un sistema direttivamente organizzato, in contraddizione con l'assunzione normalmente accettata che un volume di gas non è un sistema siffatto. In un certo senso, perciò, una spiegazione teleologica implica qualche cosa di più della sua traduzione non teleologica che appare *prima facie* equivalente. Infatti la prima presuppone, mentre la seconda di norma non lo fa, che il sistema considerato nella spiegazione sia direttivamente organizzato. Nondimeno se la precedente analisi è in generale valida questa "eccedenza di significato" degli enunciati teleologici può sempre venire espressa in linguaggio non teleologico.

3. Quanto all'ipotesi che una spiegazione teleologica possa sempre essere tradotta, riguardo a ciò che esplicitamente asserisce, in una equivalente non teleologica, chiariamo ora maggiormente in qual modo due spiegazioni siffatte differiscono tuttavia effettivamente. La differenza sembra essere la seguente: le spiegazioni teleologiche accentrano l'attenzione sui risultati e sui prodotti dei processi specifici, e in particolare sui contributi delle varie parti di un sistema alla conservazione delle proprietà o modi di comportamento globali. Esse considerano l'operare delle cose dal punto di vista di certe "totalità" scelte o di certi sistemi integrati ai quali tali cose appartengono; si interessano perciò delle caratteristiche delle parti di tali totalità, soltanto nella misura in cui i tratti distintivi delle parti sono rilevanti per i vari e complessi aspetti o attività che si considerano distintivi di quelle totalità. Le spiegazioni non teleologiche invece dirigono l'attenzione in primo luogo verso le condizioni sotto le quali sono iniziati o persistono processi specifici, e verso i fattori da cui dipendono le manifestazioni continue di certi caratteri generali di un sistema. Esse cercano di mostrare che i comportamenti integrati di sistemi complessi sono i risultati dell'azione di fattori più elementari, frequentemente identificati come parti costitutive di quei sistemi; e considerano perciò i tratti distintivi di totalità complesse quasi esclusivamente nella misura in cui questi tratti dipendono da quelle che vengono assunte come caratteristiche dei fattori elementari. In breve la differenza fra spiegazioni teleologiche e spiegazioni non teleologiche, come si è già accennato, è una questione di accentuazione e di prospettiva nella formulazione.

Se questa descrizione è valida, l'uso di spiegazioni teleologiche nello studio di sistemi direttivamente organizzati è tanto in armonia con lo spirito della scienza moderna quanto lo è l'uso di quelle non teleologiche.

Questa conclusione è confermata dall'esame di due valutazioni correntemente sostenute delle spiegazioni teleologiche, una che propone un limite al valore di tali spiegazioni, l'altra che solleva un'obiezione di principio al loro uso.

a) È stata avanzata la tesi secondo cui, per quanto le spiegazioni teleologiche siano in generale legittime, esse sono utili soltanto quando la conoscenza che ci troviamo ad avere dei sistemi direttivamente organizzati è di un certo genere.⁷ L'informazione di cui disponiamo circa il complesso di cambiamenti ambientali ai quali un tale sistema può fornire risposte adattative (cioè circa quella che noi abbiamo chiamato la "plasticità" dei sistemi "diretti ad uno scopo") può avere due fonti. Essa può avere semplicemente lo *status* di un'extrapolazione volta verso un dato sistema di generalizzazioni induttive ottenute a partire da uno studio sperimentale diretto di sistemi del tutto simili. Per esempio la conoscenza che abbiamo attualmente della plasticità di un particolare organismo umano nel conservare la sua temperatura interna di fronte ai cambiamenti nella temperatura dell'ambiente è basata sul fatto che le risposte adattative di altri corpi umani ci sono familiari. Sulla base della concezione in esame le spiegazioni teleologiche sono effettivamente efficaci in tali casi, dal momento che ci mettono in condizione di predire certi comportamenti futuri di un dato sistema a partire dalla nostra conoscenza dei comportamenti passati di sistemi simili — comportamenti futuri che non sarebbero altrimenti predicibili nello stato attuale della nostra conoscenza. La nostra informazione sulla plasticità di un dato sistema può invece avere lo *status* di un corpo di deduzioni che parte da leggi causali precedentemente stabilite, le quali concernono i meccanismi incorporati nel sistema. In tali casi, le risposte adattative di un dato sistema ai cambiamenti ambientali possono essere calcolate con l'ausilio di assunzioni generali e possono essere predette senza alcuna familiarità con i comportamenti passati di sistemi similari. Di conseguenza, le spiegazioni teleologiche in tali casi sono ritenute di scarso, o di nessun, valore.

Per quanto la distinzione fra questi due tipi di fonti di conoscenza, che sono a nostra disposizione relativamente alla plasticità dei sistemi direttivamente organizzati, sia chiaramente valida, nondimeno non è evidente il motivo per cui la linea di demarcazione fra le spiegazioni effettivamente valide e quelle che non lo sono debba venire tracciata nella maniera indicata. Le questioni relative al valore di una spiegazione non sono decise con riferimento alla fonte logica delle premesse esplicative e una risposta ad esse può venir data solo esaminando il ruolo effettivo che una spiegazione svolge entro l'indagine e nella comunicazione delle idee. È in ogni caso lungi dall'esser certo che le spiegazioni

⁷ R. B. BRAITHWAITE, *Scientific Explanation*, cit. 333 e sg.

teleologiche, per sistemi diretti ad uno scopo riguardo ai quali possediamo una conoscenza fondata su basi teoriche, siano invariabilmente o normalmente considerate oziose. Infatti esistono molti sistemi artificiali autoregolantisi (come i motori con regolatori di velocità) la cui plasticità può essere dedotta da assunzioni teoriche generali. Le spiegazioni teleologiche per vari tratti caratteristici di tali sistemi continuano nondimeno a riempire molte delle pagine dei manuali tecnici ad essi dedicati, e non vi è alcuna buona ragione per supporre che tali spiegazioni siano comunemente considerate come altrettanti inutili ferrivecchi.

b) Si è talora obiettato, però, che le spiegazioni teleologiche hanno una visuale imperdonabilmente ristretta. Esse sono basate, così si sostiene, su un'assunzione tacita secondo la quale uno speciale insieme di sistemi complessi ha uno *status* privilegiato; e per conseguenza tali spiegazioni rendono centrale il ruolo svolto dagli enti e dai processi nel conservare proprio quei sistemi e nessun altro. I processi non hanno limiti intrinseci — continua l'obiezione — e non si può ragionevolmente supporre che contribuiscano esclusivamente alla conservazione di un qualche insieme unico di totalità. È perciò ingannevole il dire, per esempio, che la funzione dei globuli bianchi nel sangue umano è quella di difendere il corpo da microrganismi estranei. Questa è indubbiamente una funzione dei leucociti; e questa particolare attività può essere definita la funzione di quelle cellule dal punto di vista del corpo umano. I leucociti però sono elementi anche in altri sistemi; per esempio sono parte del flusso sanguigno considerato come isolato dal resto del corpo, del sistema composto da qualche colonia di virus e da questi globuli bianchi, o del più complesso e ampio sistema solare.

Anche questi altri sistemi sono in grado di persistere nella loro "normale" organizzazione ed attività soltanto sotto definite condizioni; e, dal punto di vista della conservazione di questi vari altri sistemi, i leucociti possiedono altre funzioni.

Una risposta ovvia a questa obiezione è nella forma di un *tu quoque*. È altrettanto legittimo accentrare l'attenzione sulle conseguenze, sui risultati terminali, e sugli usi quanto lo è accentrarla sugli antecedenti, sui punti di partenza e sulle condizioni. I processi non hanno limiti intrinseci ma non hanno neppure cominciamenti assoluti. Enti e processi in generale non sono elementi impegnati nella conservazione di qualche totalità assolutamente unica ma neppure le totalità sono analizzabili in un insieme assolutamente unico di costituenti. È nondimeno concettualmente fecondo nelle indagini causali accentrare l'attenzione su certi stadi iniziali di un processo piuttosto che su quelli ulteriori, e su un insieme di costituenti di un sistema piuttosto che su un altro insieme. È parimenti illuminante scegliere come punto di partenza per l'indagine di alcuni problemi certe totalità complesse piuttosto che altre.

Inoltre, come abbiamo visto, alcuni enti sono parti di sistemi direttivamente organizzati, ma non risulta che essi siano parti di più di uno di tali sistemi. Lo studio delle funzioni uniche delle parti in tali sistemi unici direttivamente organizzati non è perciò un pregiudizio che ascriva senza garanzie un'importanza speciale a certi sistemi particolari. Al contrario si tratta di un'indagine che è sensibile alle differenze fondamentali e oggettivamente identificabili nella materia trattata.

Vi è nondimeno un rilievo da fare a questa obiezione. Infatti l'influenza deformatrice di ristretti interessi umani sulla costruzione di spiegazioni teleologiche è trascurata più spesso di quanto non avvenga nel caso delle analisi non teleologiche. Per conseguenza, certi prodotti finali dei processi e certe direzioni di cambiamento sono assunti frequentemente come intrinsecamente "naturali", "essenziali" o "propri" mentre tutti gli altri vengono poi classificati come "innaturali", "accidentali" e persino "anormali". Così lo sviluppo del seme di grano in pianta viene spesso considerato naturale mentre la sua trasformazione in carne di uccelli o di uomini viene dichiarata meramente accidentale. In un dato contesto di indagine, e alla luce del problema che le fornisce l'avvio può esservi ampia giustificazione per ignorare tutte le direzioni di possibile mutamento salvo una, e tutti i sistemi di attività salvo uno, alla cui conservazione contribuiscono enti e processi. Però tale negligenza delle altre funzioni che gli enti possono avere e delle altre totalità di cui essi possono far parte, non permette di concludere che ciò che viene ignorato è meno autentico o meno naturale di ciò che è oggetto di un'attenzione selettiva.

4. Dobbiamo brevemente considerare un ultimo punto in connessione con le spiegazioni teleologiche in biologia. Come è stato già ricordato, alcuni biologi sostengono che il carattere distintivo delle spiegazioni biologiche appare evidente nelle indagini fisiologiche, nelle quali vengono investigate le funzioni di organi e i processi vitali, anche se la maggior parte dei biologi sono del tutto disposti ad ammettere che nella morfologia e nello studio dei tratti strutturali non sono richieste speciali categorie di spiegazioni. Per conseguenza, alcuni autori hanno dato grande rilievo al contrasto fra struttura e funzione, e alle difficoltà nel valutare l'importanza relativa di ciascuna delle due quale fattore determinante dei fenomeni viventi. Si ammette in generale che "lo sviluppo delle funzioni procede di pari passo con lo sviluppo della struttura", e che l'attività vivente non si manifesta separatamente da una struttura materiale, e che la struttura vitale non esiste se non come prodotto dell'attività protoplasmatica. In questo senso, struttura e funzione sono comunemente considerate come "aspetti inseparabili" dell'organizzazione biologica. Nondimeno eminenti biologi credono che sia ancora un problema irrisolto e forse irrisolvibile "in qual misura le strutture pos-

sano modificare le funzioni e le funzioni le strutture"; essi considerano il contrasto fra struttura e funzione come un "dilemma".⁸

Ma che cosa è questo contrasto? perché i suoi termini sollevano un problema apparentemente irrisolvibile? e che cosa nasconde uno dei termini di questo dilemma, termine che manifestamente esige un modo di analisi e di spiegazione specifico della biologia? Cerchiamo di richiamare alla mente in qual modo uno studio morfologico di qualche organo biologico, per esempio dell'occhio umano, differisca dalla corrispondente investigazione fisiologica. Un esame strutturale dell'occhio consiste solitamente in una descrizione della sua anatomia macroscopica e microscopica. Un tale esame descrive perciò specificamente le varie parti dell'organo, le loro forme e relative disposizioni spaziali l'una rispetto all'altra e alle altre parti del corpo, e le loro composizioni cellulari e fisico chimiche. L'espressione "struttura dell'occhio" significa perciò usualmente l'organizzazione spaziale delle sue parti, unitamente alle proprietà fisico chimiche di ciascuna parte. Invece, un esame fisiologico dell'organo definisce le attività alle quali le sue singole parti possono prendere o prendono parte, e il ruolo che queste parti svolgono nella visione. Per esempio, i muscoli ciliari si dimostrano suscettibili di contrazione e di rilassamento, per cui, data la loro connessione con il legamento sospensorio, la curvatura delle lenti può essere accomodata per la visione da vicino o da lontano; e le ghiandole lacrimali sono identificate come fonti di fluidi che lubrificano e puliscono le membrane congiuntivali. In generale perciò la fisiologia si interessa del carattere, dell'ordine e delle conseguenze delle attività in cui le parti dell'occhio possono essere impegnate.

Se questo esempio è tipico del modo in cui i biologi usano i termini, il contrasto fra struttura e funzione è evidentemente un contrasto fra la organizzazione *spaziale* delle parti anatomicamente distinguibili di un organo e la organizzazione *temporale* (o spazio-temporale) dei mutamenti in quelle parti. Ciò che viene investigato attraverso ciascuno dei due termini in contrasto è un modo di organizzazione o un tipo di ordine. Nell'un caso l'organizzazione è fondamentalmente se non esclusivamente spaziale, e l'oggetto dell'investigazione è quello di accertare la distribuzione spaziale delle parti organiche e i modi della loro connessione. Nell'altro caso l'organizzazione ha una dimensione temporale, e il fine dell'indagine è quello di scoprire ordini di cambiamento tanto simultanei quanto successivi nelle parti dei corpi organici spazialmente ordinate e

⁸ Cfr. EDWIN G. CONKLIN, *Heredity and Environment*, Princeton, 1922, p. 32, e EDMUND B. WILSON, *The Cell*, New York, 1925, p. 670. In un volume uscito in seguito Conklin dichiara che "la relazione fra meccanismo e finalismo non è dissimile da quella fra struttura e funzione — esse sono due aspetti della organizzazione. La concezione meccanicista della vita è principalmente una visione strutturale, la concezione teleologica invece guarda soprattutto alla funzione ultima. Questi due aspetti della vita non sono antagonistici ma complementari": *Man: Real and Ideal*, New York, 1943, p. 177.

collegate. È evidente perciò che struttura e funzione (nel senso in cui risulta che i biologi usino questi termini) sono effettivamente "inseparabili". Infatti è difficile supporre sensatamente che un sistema di attività il quale abbia un'organizzazione temporale non sia anche un sistema di parti spazialmente strutturate che manifestano queste attività. In ogni caso, non esiste ovviamente antitesi fra un'indagine diretta alla scoperta dell'organizzazione spaziale delle parti organiche e un'indagine indirizzata verso l'accertamento delle strutture spazio-temporali che caratterizzano le attività di quelle parti.

Un'analogia distinzione fra tipi di indagine può venire introdotta anche nelle scienze fisiche. La geografia fisica descrittiva, per esempio, si interessa fondamentalmente della distribuzione e delle relazioni spaziali di montagne, pianure, fiumi, e oceani; la geologia storica e la geofisica, invece, indagano gli ordini di mutamento temporali e dinamici in cui sono implicate tali caratteristiche geografiche. Per conseguenza, se le indagini sulla struttura e la funzione fossero antitetico in biologia, un'antitesi analoga dovrebbe presentarsi anche nell'ambito delle scienze non biologiche. Ogni indagine implica una selezione discriminatrice entro la grande varietà di schemi di relazioni incorporate nella materia trattata; ed è tanto opportuno quanto inevitabile dirigere alcune indagini verso un tipo di schema e altre indagini verso tipi diversi. Non sembra esservi alcuna ragione per far nascere un enigma di fondo dal fatto che gli organismi viventi manifestano una struttura sia spaziale che temporale delle loro parti.

Che cosa è, allora, il problema irrisolto o irrisolvibile sollevato dalla distinzione biologica fra struttura e funzione? Due questioni vanno distinte a questo proposito. Ci si può domandare, in primo luogo, quali strutture spaziali siano richieste per l'esercizio di funzioni specifiche, e se un mutamento in uno schema di attività di un organismo o delle sue parti sia associato con un qualche cambiamento nella distribuzione e nella organizzazione spaziale dei costituenti di tale sistema. Questa è ovviamente una questione che deve essere decisa attraverso una dettagliata indagine empirica, e sebbene vi siano innumerevoli problemi non risolti a questo proposito, essi non sollevano basilari questioni di principio. Una scuola di filosofi e di teorici della biologia per esempio sostiene che lo sviluppo di certi organi confrontabili in talune specie notevolmente diverse può essere spiegato solo in base all'assunzione di uno "slancio vitale" che dirige l'evoluzione verso il conseguimento di qualche funzione futura. Così il fatto che gli occhi del polipo e dell'uomo siano anatomicamente simili, per quanto l'evoluzione di queste due specie a partire da progenitori privi di occhi abbia seguito linee di sviluppo differenti, è stato addotto come prova della tesi secondo cui non è possibile alcuna spiegazione di questa convergenza nei termini di meccanismi di variazione casuale e di adattamento. Tale fatto per conseguenza è stato utilizzato per sostenere il punto di vista secondo cui esi-

ste uno "slancio vitale originario indiviso" che agisce sulla materia inerte in modo da creare organi appropriati per la funzione della vista.⁹ Persino questa ipotesi, però, per quanto vaga e altrimenti insoddisfacente, coinvolge in parte questioni fattuali; e se numerosi biologi la rifiutano lo fanno in larga misura perché la prova fattuale di cui si dispone suffraga in maniera più adeguata una diversa teoria dello sviluppo evolutivo.

In secondo luogo, ci si può chiedere perché proprio una data struttura sia associata con un certo insieme di funzioni o viceversa. Orbene questa domanda deve essere intesa come una richiesta di spiegazioni, forse in termini fisico chimici, del fatto che quando un corpo vivente ha una data organizzazione spaziale delle sue parti esso presenta certi schemi di attività. Quando la domanda viene così intesa, è ben lungi dall'essere assurda. Per quanto possa darsi che non si sappia rispondere ad essa nella maggior parte dei casi, almeno in qualche altro caso si sanno dare effettivamente risposte ragionevolmente adeguate, per cui abbiamo una certa base onde presumere che la nostra ignoranza non sia necessariamente permanente. Tali spiegazioni, però, devono contenere come premesse non solo enunciati relativi alla costituzione fisico chimica delle parti di un essere vivente e alla organizzazione spaziale di queste ma anche enunciati di teorie e leggi fisico chimiche. Inoltre, almeno alcune di queste ultime premesse devono asserire connessioni fra l'organizzazione spaziale dei sistemi fisico chimici e gli schemi temporali di attività. Se si insiste però continuamente sulla domanda, e si esige una spiegazione anche per queste ultime connessioni si giunge alla fine ad un vicolo cieco. Tale domanda infatti ammette in realtà che la struttura temporale o causale dei processi fisici sia deducibile semplicemente dall'organizzazione spaziale dei sistemi fisici o viceversa; e nessuna di queste assunzioni è di fatto sostenibile.

È analogamente possibile fornire un rendiconto accurato delle relazioni spaziali in cui le varie parti di un orologio stanno l'una con l'altra. Possiamo precisare le misure delle ruote dentate, la posizione della molla principale, e così via. Per quanto tale conoscenza della struttura spaziale dell'orologio sia indispensabile, essa però non è sufficiente per comprendere come opererà l'orologio. Dobbiamo conoscere anche le leggi della meccanica, le quali formulano la struttura temporale del comportamento dell'orologio indicando come la distribuzione spaziale delle sue parti in un certo istante sia in relazione con la distribuzione in un istante successivo. Questa struttura temporale, però, non può essere dedotta semplicemente dalla struttura spaziale (o anatomia) dell'orologio, pro-

⁹ Cfr. H. BERGSON, *L'Évolution Créatrice*, Paris 1907; trad. it. a cura di U. Segré, Milano 1936 c. I; e la breve ma incisiva critica di concezioni simili a quella di Bergson in GEORGE G. SIMPSON, *The Meaning of Evolution*, New Haven, 1949; trad. it. a cura di B. del Bianco, Milano 1954, c. 12). Vedi anche THEODOSIUS DOBZHANSKY, *Evolution, Genetics and Man*, New York, London 1955, c. 14.

prio come la sua struttura spaziale in un dato istante qualunque non può venir derivata dalle leggi generali della meccanica. Di conseguenza, la ricerca del motivo per cui una data struttura anatomica sia associata con funzioni specifiche può risultare una questione insolubile, non perché sia al di fuori delle nostre possibilità, ma semplicemente perché la questione, nel senso in cui è intesa, chiede ciò che è logicamente impossibile. In breve la struttura anatomica non determina logicamente la funzione, per quanto *come realtà di fatto contingente* la struttura anatomica specifica, posseduta da un organismo, ponga effettivamente dei limiti al genere di attività in cui l'organismo può essere impegnato. E viceversa, lo schema di comportamento esibito dall'organismo non implica logicamente un'unica struttura anatomica, per quanto *di fatto* un organismo manifesti specifici modi di attività solo quando le sue parti possiedono una struttura anatomica determinata di un certo genere.

Da queste varie considerazioni consegue che la distinzione fra struttura e funzione non investe nulla che differenzi la biologia dalle scienze fisiche o che renda necessario in biologia l'uso di una peculiare logica di spiegazione. Negare le patenti differenze fra la biologia e le altre scienze naturali per quel che concerne il ruolo svolto dalle analisi funzionali non era il fine della presente discussione. Né era il suo fine quello di gettare dubbi sulla legittimità di tali spiegazioni in qualunque campo in cui esse risultino adeguate per lo speciale carattere dei sistemi investigati. L'obiettivo della discussione è stato quello di mostrare soltanto che la prevalenza delle spiegazioni teleologiche in biologia non costituisce uno schema di spiegazione inconfontabilmente diverso da quello corrente nelle scienze fisiche e che l'uso di tali spiegazioni in biologia non è un motivo sufficiente per sostenere che questa disciplina esiga una logica di indagine radicalmente distinta.

II. Il punto di vista della biologia organismica

Il vitalismo di tipo sostanzialistico propugnato dal Driesch e da altri biologi nel secolo scorso e nei primi decenni dell'attuale è ormai un problema quasi totalmente superato nella filosofia della biologia. La questione ha cessato di essere centrale non tanto forse come conseguenza delle critiche filosofiche e metodologiche alle quali il vitalismo è stato assoggettato quanto a causa della sua sterilità come guida per la ricerca biologica e per il maggiore valore euristico di altri modi di affrontare lo studio dei fenomeni vitali. Nondimeno la concezione cartesiana della biologia come un semplice capitolo della fisica anche se storicamente autorevole continua ad incontrare resistenza. Molti eminenti biologi che non riconoscono alcun pregio al vitalismo sono egualmente dubbiosi circa la validità del programma cartesiano; prospettano talora quelle che essi ritengono ragioni decisive per affermare l'irriducibilità della biolo-

gia alla fisica e la intrinseca autonomia del metodo biologico. Il punto di vista, a partire dal quale questa tesi antivitalistica e pur tuttavia antimeccanicistica viene per solito avanzata, porta comunemente l'etichetta di "biologia organismica". Tale etichetta si riferisce a varie dottrine biologiche particolari che non sempre sono reciprocamente compatibili. Nondimeno le dottrine che cadono sotto di essa hanno generalmente in comune la premessa che le spiegazioni di tipo "meccanicistico" non sono appropriate per i fenomeni vitali. Esamineremo ora le argomentazioni fondamentali della biologia organismica.

1. Per quanto i sostenitori della biologia organismica neghino l'opportunità anche se non sempre la possibilità delle "teorie meccanicistiche" per i processi vitali, spesso non è chiaro contro che cosa essi facciano opposizione. Tale mancanza di chiarezza tuttavia può indubbiamente fare il paio con l'ambiguità che spesso caratterizza gli enunciati relativi agli scopi e ai programmi di quanti si professano "meccanicisti" in biologia. Come abbiamo avuto occasione di osservare in un capitolo precedente, la parola "meccanicismo" ha vari significati e sia i "meccanicisti" in biologia che i loro avversari non si danno gran pena di precisare il senso in cui la adottano. Ci sono biologi che si professano meccanicisti semplicemente nel senso lato di credere che i fenomeni vitali si presentino in determinati ordini e che le condizioni per il loro presentarsi siano strutture spazio-temporali dei corpi. Un tale punto di vista tuttavia è compatibile con tutte le tendenze in biologia ad eccezione di quella dei vitalisti e degli indeterministi radicali; e in ogni caso, quando il meccanicismo in biologia viene così inteso, nessuna questione divide coloro che lo professano dalla maggior parte dei sostenitori della biologia organismica. Ci furono anche biologi che si proclamarono meccanicisti nel senso di sostenere che tutti i fenomeni vitali sarebbero esplicabili esclusivamente nei termini della scienza meccanica (più specificamente nei termini delle teorie meccaniche o pure o unitarie, secondo il significato di cui si è fatto cenno al capitolo VII) e che credettero perciò che gli esseri viventi fossero "macchine" nel significato originario di questa parola. Che vi sia oggi qualche biologo meccanicista in questo senso è però cosa dubbia. I fisici stessi hanno da lungo tempo abbandonato la speranza del XVII secolo che si potesse sviluppare una scienza universale della natura entro lo schema delle idee fondamentali della meccanica classica. Ed è indubitabile che nessun biologo contemporaneo sottoscrive letteralmente il programma cartesiano di ridurre la biologia alla scienza meccanica, e specialmente alla meccanica dell'azione di contatto.

In ogni caso, la maggior parte dei biologi che oggi si definisce meccanicista professa un punto di vista che è ad un tempo molto più specifico della tesi generale del determinismo causale, e molto meno restrittivo di quello che identifica una spiegazione meccanicistica con una spiegazione nei termini della meccanica. Noi consideriamo meccanicista in bio-

logia colui che crede come Jacques Loeb, che tutti i processi viventi "possono inequivocabilmente essere spiegati in termini fisico chimici",¹⁰ cioè, in termini di teorie e di leggi che per consenso comune sono classificate come appartenenti alla fisica e alla chimica. Il meccanicismo biologico, così inteso, però, non può essere considerato come la regolazione della organizzazione altamente complessa dei corpi viventi. Al contrario, la maggior parte dei biologi che adottano un tale punto di vista di solito sottolineano con molta enfasi il fatto che le attività dei corpi viventi non sono esplicabili analizzando "semplicemente" la loro composizione fisica e chimica senza tener conto delle loro "strutture ordinate" o "della loro organizzazione". Così la caratterizzazione data dal Loeb di un corpo vivente come una "macchina chimica" è un riconoscimento ovvio di tale organizzazione. Ciò è riconosciuto anche più esplicitamente da E. B. Wilson, il quale — dopo aver definito lo "sviluppo" del plasma germinale come la totalità delle operazioni per mezzo delle quali il germe dà origine al suo tipico prodotto — dichiara che il particolare corso di questo sviluppo

è determinato (nelle condizioni normali) dall'organizzazione specifica delle cellule germinali che formano il suo punto di partenza. Finora noi non abbiamo una concezione adeguata di questa organizzazione, per quanto si sappia che una parte molto importante di essa è rappresentata dal suo nucleo... La sua natura costituisce uno dei maggiori problemi irrisolti della natura... Nondimeno la sola via di cui disponiamo per la sua esplorazione consiste nella concezione meccanicistica, secondo cui la organizzazione della cellula germinale deve essere riconducibile in qualche modo alle proprietà fisico chimiche delle sue sostanze componenti e alle configurazioni specifiche che esse possono assumere.¹¹

Se tale è l'assunto dell'attuale meccanicismo biologico e se i sostenitori della biologia organismica rigettano, come i meccanicisti, la postulazione di agenti "vitalistici" non materiali le cui attività dovrebbero spiegare i processi vitali, in che cosa l'impostazione e l'assunto della biologia organismica differiscono da quelli del meccanicismo? I fondamentali punti di divergenza, sottolineati dagli stessi sostenitori della biologia organismica, risultano essere i seguenti:

a) È un errore supporre che la sola alternativa al vitalismo sia il meccanicismo. Ci sono settori dell'indagine biologica in cui le spiegazioni fisico chimiche hanno un ruolo limitato, o addirittura nessuno attualmente, e numerose teorie biologiche che non sono di natura fisico chimica sono state utilizzate con successo. Abbiamo per esempio a disposizione un cospicuo corpo di conoscenze sperimentali concernenti i

¹⁰ JACQUES LOEB, *The Mechanistic Conception of Life*, Chicago, 1912.

¹¹ E. B. WILSON, *op. cit.*, p. 1037, citata per gentile concessione della MacMillan Company, New York.

processi embriologici, sebbene poche fra le regolarità che sono state scoperte possano al momento attuale venire spiegate in termini esclusivamente fisico chimici; né la teoria dell'evoluzione, anche nelle sue forme odierne, né la teoria genica dell'ereditarietà sono fondate su alcuna ben definita assunzione fisico chimica concernente i processi vitali. Non è certamente inevitabile che le spiegazioni meccanicistiche alla fine, prevalgano in questi domini; e dal momento che in ogni caso questi settori vengono ora fruttuosamente esplorati senza fare necessariamente ricorso alla tesi meccanicistica, i dubbi dei sostenitori della biologia organicistica circa il trionfo finale di quella tesi in tutti i settori della biologia hanno quanto meno qualche fondamento. Infatti proprio come un fisico può sentirsi garantito nel sostenere che alcune branche della fisica (per es. l'elettromagnetismo) non sono riducibili a qualche altra branca della stessa scienza (per es. la meccanica) anche un biologo sostenitore dell'organicismo può sentirsi garantito nell'abbracciare un analogo punto di vista per quel che riguarda la relazione fra la biologia e la fisica. Esiste così in biologia un'autentica alternativa tanto al vitalismo quanto al meccanicismo: essa consiste nello sviluppo di sistemi di spiegazione i quali si servono di concetti e asseriscono relazioni che non sono né definite all'interno delle scienze fisiche né derivate da esse.

b) I biologi organicisti, però, pretendono molto più di questo. Parecchi di essi sostengono altresì che i metodi analitici delle scienze fisico chimiche sono intrinsecamente non idonei allo studio degli organismi viventi; che i problemi centrali connessi con i processi vitali devono essere affrontati in un modo particolare; e che, dal momento che la biologia è intrinsecamente irriducibile alle scienze fisiche, le spiegazioni meccanicistiche devono essere rifiutate come meta ultima della ricerca biologica. Una ragione comunemente avanzata a difesa di questa tesi più radicabile è quella della natura "organica" dei sistemi biologici. In effetti, il tema dominante sul quale gli scritti dei biologi organicisti svolgono poi tante variazioni è forse il carattere "integrato", "olistico" e "unificato" di un essere vivente e delle sue attività. Gli esseri viventi, in contrasto con i sistemi non viventi, non sono strutture labilmente congiunte di parti indipendenti e separabili, non sono riunioni di tessuti e di organi che stanno fra loro in relazioni meramente estrinseche. Gli esseri viventi sono "totalità" e devono quindi venire studiati come "totalità" che non sono mere somme di parti isolabili, e le loro attività non possono essere comprese o spiegate se vengono considerate "somme" di tal genere. Al contrario le spiegazioni meccanicistiche interpretano gli organismi viventi come "macchine" le cui parti sono indipendenti, e adottano perciò un punto di vista "addittivo" nell'analizzare i fenomeni vitali. Per conseguenza, dal momento che l'azione dell'intero

organismo "ha una certa unificazione e una certa completezza" che viene trascurata quando la si analizza nei suoi processi elementari, E. S. Russell conclude che "le attività dell'organismo come totalità devono essere considerate di un ordine diverso dalle relazioni fisico chimiche, tanto in se stesse quanto ai fini della nostra comprensione".¹²

La biologia deve perciò osservare due "leggi metodologiche": "L'attività del tutto non può essere spiegata pienamente nei termini delle attività delle parti che vengono isolate mediante analisi"; e "Nessuna parte di una qualunque entità vivente e nessun singolo processo di una qualunque complessa unità organica può essere pienamente compreso isolandolo dalla struttura e dalle attività dell'organismo considerato come un tutto".¹³

c) Aggiungiamo infine una considerazione strettamente connessa alla precedente sulla quale i biologi organicisti pongono l'accento; essa riguarda la "organizzazione gerarchica" dei corpi e dei processi viventi. Così, una cellula è conosciuta come una struttura con vari costituenti, quali il nucleo, i corpi di Golgi e le membrane, ciascuno dei quali può essere analizzabile in altre parti e queste a loro volta in altre ancora, cosicché l'analisi termina presumibilmente con le molecole, gli atomi, e le loro parti "originarie". Negli organismi multicellulari la cellula è anche un semplice elemento nella organizzazione di un tessuto, il tessuto è una parte di qualche organo, l'organo un membro di un sistema di organi, e il sistema di organi costituente dell'organismo integrato. È evidente che queste varie parti non si presentano allo stesso livello di "organizzazione". Di conseguenza i biologi organicisti insistono molto sul fatto che un corpo animato non è un sistema di parti omogenee in una complessità di organizzazione, ma che al contrario le "parti" in cui un organismo è analizzato devono venire distinte secondo i differenti livelli di qualche particolare tipo di struttura gerarchica (possono esistere parecchi di questi tipi) a cui le parti appartengono. Orbene i biologi organicisti non negano che le spiegazioni fisico chimiche siano possibili per le attività delle parti ai livelli "più bassi" di una gerarchia. E non negano che le proprietà fisico chimiche delle parti a livello più basso "condizionino" o "limitino" in varie maniere il presentarsi e i modi di azione dei livelli più alti di organizzazione. Essi negano, invece, che i processi riscontrati ai livelli più alti di una gerarchia siano "causati" da proprietà dei livelli

¹² E. S. RUSSELL, *The Interpretation of Development and Heredity*, Oxford, 1930, pp. 171-72.

¹³ *ibid.* pp. 146-47. Enunciazioni analoghe dell'assunto centrale della biologia organicistica si trovano in RUSSELL, *Directiveness of Organic Activities*, Cambridge, Eng. 1945, cc. 1 e 7 in particolare; LUDWIG VON BERTALANFFY, *Theoretische Biologie*, Berlin, 1932, c. 2; dello stesso *Modern Theories of Development*, Oxford, 1933; e ancora di L. V. BERTALANFFY, *Problems of Life*, New York, London, 1952 cc. 1 e 2; W. E. AGAR, *The Theory of the Living Organism*, Melbourne, London, 1943.

inferiori o siano pienamente esplicabili nei termini di esse. La biochimica è per generale ammissione lo studio delle "condizioni" sotto le quali le cellule e gli organismi agiscono nel modo in cui agiscono. La biologia organismica, invece, indaga le attività dell'intero organismo "considerato come condizionato dai modi di azione delle unità inferiori ma irriducibile ad essi".¹⁴

Dobbiamo esaminare ora queste dichiarate divergenze fra l'impostazione organicistica e quella meccanicistica nei riguardi della biologia, e tentare di dare una valutazione della tesi secondo cui l'impostazione meccanicistica sarebbe in generale inadeguata all'oggetto della biologia.

2. A prima vista, i soli problemi sollevati dalla biologia organismica sono quelli che abbiamo già discusso a proposito della dottrina dell'emergenza e del problema della riduzione di una scienza ad un'altra. Di fatto, altre questioni sono pure implicate. Nella misura però in cui i problemi sono quelli della riduzione, noi possiamo liquidarli molto rapidamente.

Richiamiamo per prima cosa alla nostra mente le due condizioni formali, esaminate abbastanza a lungo nel precedente capitolo — condizioni le quali sono necessarie e sufficienti per la riduzione di una scienza ad un'altra. Quando vengono enunciate con particolare riferimento alla biologia e alla fisico chimica, esse sono le seguenti:

a) *La condizione di connettibilità.* In una legge biologica tutti i termini che non appartengono alla scienza primaria (quali "cellula", "mitosi" o "ereditarietà") devono essere "connesse" con espressioni costruite a partire dal vocabolario teorico della fisica e della chimica (a partire da termini come "lunghezza", "carica elettrica", "energia libera" e simili). Queste connessioni possono essere di diversi tipi. I significati delle espressioni biologiche possono essere analizzabili, e forse anche esplicitamente definibili, nei termini di quelle fisico chimiche, cosicché nel caso limite le espressioni biologiche sono eliminabili in favore dei termini fisico chimici. Un modo di connessione alternativo è quello per cui le espressioni biologiche sono associate con quelle fisico chimiche per mezzo di qualche tipo di definizione coordinatrice, sicché le connessioni vengono ad avere lo *status* logico di convenzioni. Infine — e questo è il caso più frequente — i termini biologici possono essere

¹⁴ RUSSELL, *The Interpretation of Development and Heredity*, p. 187. Per una analoga visione cfr. LUDWIG VON BERTALANFFY e ALEX B. NOVIKOFF, *The Conception of Integrative Levels and Biology*, "Science", vol. 101 (1945); pp. 209-15, e la discussione di questo articolo nello stesso volume, pp. 582-85 e nel vol. 102 (1945) pp. 405-06. Una sobria ed accurata analisi della natura della organizzazione generica in biologia e del suo significato per la possibilità di una spiegazione meccanicistica si trova in J. H. WOODGER, *Biological Principles*, New York 1929 c. 6 e in WOODGER, *The Concept of Organism and the Relation between Embryology and Genetics*, "Quarterly Review of Biology", vol. 5 (1930) e vol. 6 (1931).

connessi con quelli fisico chimici in forza di assunzioni empiriche, cosicché le condizioni sufficienti (e possibilmente anche quelle necessarie) per il presentarsi di una qualunque entità che sia designata dalle espressioni biologiche possano venire enunciate per mezzo delle espressioni fisico chimiche. Così, se il termine "cromosoma" non può venir associato in nessuno dei due modi precedenti con l'espressione costruita a partire dal vocabolario teorico della fisica e della chimica, allora deve essere possibile, alla luce di una legge all'uopo assunta, enunciare le condizioni di verità per una espressione della forma "*x* è un cromosoma" interamente per mezzo di una proposizione costruita a partire da quel vocabolario.

b) *La condizione di derivabilità.* Ogni legge biologica sia teorica che sperimentale deve essere derivabile logicamente da una classe di enunciati appartenenti alla fisica e alla chimica. Le premesse in queste deduzioni conteranno tanto una conveniente selezione tratta dalle assunzioni teoriche della disciplina primaria, quanto enunciati che formulano le associazioni fra termini biologici e termini fisico chimici richieste dalla condizione di connettibilità. In generale alcune delle premesse enunceranno nel vocabolario della scienza primaria le condizioni limite, o configurazioni spatio-temporali speciali, sotto cui le assunzioni teoriche vanno applicate.

Come si è mostrato nel capitolo precedente, la condizione di derivabilità non può venir soddisfatta a meno che non lo sia quella di connettibilità. È fuori discussione, però, che il compito di soddisfare la prima di queste condizioni per la biologia è ben lungi dall'essere stato espletato. Attualmente non conosciamo, per esempio, la composizione chimica dettagliata dei cromosomi nelle cellule viventi. Siamo perciò incapaci di enunciare in termini esclusivamente fisico chimici le condizioni per il presentarsi di quelle parti organiche, e quindi di enunciare in tali termini le condizioni di verità per l'applicazione della parola "cromosoma". Ed *a fortiori* non siamo in grado oggi di formulare nel linguaggio fisico chimico la struttura di uno qualunque fra i sistemi, quali il nucleo della cellula, la cellula, il tessuto, dei quali i cromosomi stessi sono parte. Per conseguenza, nello stato attuale della conoscenza biologica è logicamente impossibile dedurre la totalità delle leggi biologiche e delle teorie da assunzioni puramente fisico chimiche. In breve, la biologia non è attualmente un semplice capitolo della fisica e della chimica.

I biologi organicisti perciò poggiano su un terreno solido quando sostengono che le spiegazioni meccanicistiche di tutti i fenomeni biologici sono attualmente impossibili, e resteranno tali fino a che i termini teorici e descrittivi della biologia non si mostrino capaci di soddisfare la prima condizione per la riduzione di questa scienza alla fisica e alla chimica — cioè, fino a quando la composizione di ogni parte o

processo degli esseri viventi, e la distribuzione e la disposizione delle loro parti in qualunque momento, non possa venir esaurientemente definita in termini fisico chimici. Inoltre, anche se questa condizione fosse realizzata, il trionfo del punto di vista meccanicistico non sarebbe da ciò assicurato. Infatti, come abbiamo già mostrato, soddisfare alla condizione di connettibilità è un requisito necessario ma in generale non sufficiente per l'assorbimento della biologia nella fisica e nella chimica. Anche se la condizione di connettibilità fosse soddisfatta, resterebbe sempre la questione se tutte le leggi biologiche siano deducibili dalle attuali assunzioni teoriche di queste scienze fisiche. È comprensibile che la risposta a questa domanda sia negativa, dal momento che la teoria fisico chimica nella sua forma attuale può non essere sufficientemente potente onde permettere la derivazione di varie leggi biologiche, anche se queste leggi dovessero contenere soltanto termini rigorosamente connessi ad espressioni appartenenti a quelle discipline primarie. Si dovrebbe altresì osservare che, anche se fossero soddisfatte entrambe le condizioni formali per la riducibilità della biologia, questa riduzione potrebbe avere scarsa o forse nessuna importanza scientifica, per il motivo che alcune delle condizioni antecedentemente classificate come "non formali" potrebbero non realizzarsi in modo adeguato.

D'altro lato, i fatti citati e gli argomenti finora esaminati non garantiscono la conclusione che la biologia sia *di principio* irriducibile alle scienze fisiche. Si ammette che il compito che sta di fronte a una tale proposta di riduzione è molto difficile; e tale compito desta senza dubbio in molti studiosi l'impressione di essere se non completamente disperato, quanto meno non meritevole di venire affrontato attualmente. Nessuna contraddizione *logica*, è stata tuttavia esibita nei confronti della supposizione che tanto le condizioni formali quanto quelle non formali per la riduzione della biologia potranno un giorno essere soddisfatte. Possiamo perciò concludere questa parte della discussione affermando che la questione se la biologia sia riducibile alla fisico chimica è una questione aperta, essa non può venire decisa con un argomento a priori e una risposta a tali questioni può venir fornita soltanto da un'ulteriore indagine logica e sperimentale.

3. Esamineremo ora l'argomento a favore della "autonomia" intrinseca della biologia basato sul fatto che i sistemi viventi sono gerarchicamente organizzati. Il peso di questo argomento, come abbiamo visto è dato dal fatto che le proprietà e i modi di comportamento che si presentano a un livello più alto di una tale gerarchia non possono in generale venir spiegati come risultati dalle proprietà e dai comportamenti esibiti da parti isolabili appartenenti a livelli più bassi della struttura di un organismo.

Non esiste controversia fra i biologi sulla tesi secondo la quale le

parti e i processi in cui gli organismi viventi sono analizzabili possono venir classificati in termini delle loro rispettive collocazioni in gerarchie di vari tipi, quale per esempio la gerarchia essenzialmente spaziale poco sopra menzionata. Né esiste disaccordo sul fatto che le parti di un organismo appartenenti ad un livello della gerarchia spesso presentino forme di correlazione e di attività non manifestate da parti organiche appartenenti ad un altro livello. Un gatto per esempio può tendere agguati e catturare topi; ma anche se il battito continuato del suo cuore è una condizione necessaria per queste attività, il cuore del gatto non può compiere tali imprese. È ancora, il cuore può pompare sangue mediante la contrazione e il rilassamento dei suoi tessuti muscolari, anche se nessun singolo tessuto può mantenere il sangue in circolazione; e nessun tessuto è in grado di dividersi per scissione, anche se le sue cellule costituenti possono avere questa proprietà. Questi esempi bastano a fondare la tesi secondo la quale i modi di comportamento che si manifestano ai livelli più alti di un sistema gerarchicamente organizzato non sono spiegati attraverso il semplice elenco di ciascuna delle varie parti a livello più basso e di ciascuno dei processi del sistema, considerato come un aggregato di elementi isolati e privi di relazione. I biologi organicisti non negano che il presentarsi di tratti caratteristici dei livelli più alti in organismi viventi gerarchicamente strutturati dipenda dal manifestarsi, a differenti livelli della gerarchia, di varie parti componenti correlate in determinati modi. Essi però negano con evidenti buone ragioni che gli enunciati che formulano i tratti caratteristici manifestati dai componenti di un organismo, quando tali componenti non sono parti di un organismo effettivamente vivente, possano spiegare adeguatamente il comportamento del sistema vivente — sistema che contiene quei componenti come parti correlate in modi complessi con altri elementi in un tutto gerarchicamente strutturato.

L'ammissione di questi fatti dà però effettivamente un fondamento alla tesi secondo cui le spiegazioni meccanicistiche risultano impossibili o non idonee per la materia trattata dalla biologia? Bisognerebbe osservare che anche gli oggetti della fisica e della chimica e non solo quelli della biologia mostrano varie forme di organizzazione gerarchica. Le nostre attuali teorie sulla materia assumono gli atomi come strutture di cariche elettriche, le molecole come organizzazioni di atomi, i solidi e i liquidi come complessi sistemi di molecole. Inoltre le prove di cui disponiamo mostrano che gli elementi ai diversi livelli di questa gerarchia manifestano tratti caratteristici che le loro parti componenti non posseggono invariabilmente. Però questi fatti non hanno costituito un impedimento alla fondazione di teorie generali per le particelle fisiche e i processi più elementari, mediante le quali è stato possibile rendere conto di alcune, se non di tutte, le proprietà fisico chimiche manifestate da quegli oggetti che hanno un'organizza-

zione più complessa. Senza dubbio non possediamo oggi una teoria unificata e generale capace di spiegare l'intero complesso dei fenomeni puramente fisico chimici che si presentano a vari livelli di organizzazione. Se una tale teoria verrà mai conseguita è certamente una questione aperta. A questo riguardo torna a proposito l'osservazione che gli organismi biologici sono "sistemi aperti" i quali non si trovano mai in uno stato di "vero equilibrio" ma al massimo in uno stato costante di "equilibrio dinamico" con il loro ambiente, in quanto essi scambiano continuamente non solo le energie ma anche i componenti materiali con quest'ultimo.¹⁵ Sotto questo profilo, gli organismi viventi sono diversi dai "sistemi chiusi" abitualmente studiati dalla fisica attuale. In effetti, una teoria adeguata dei processi fisico chimici nei sistemi aperti — per esempio, una termodinamica capace di trattare tanto di sistemi in stato di equilibrio quanto di sistemi che non lo sono — è attualmente solo ad uno stadio iniziale di sviluppo. Nondimeno, la situazione continua ad essere la seguente: noi possiamo attualmente spiegare alcune caratteristiche di sistemi abbastanza complessi con l'ausilio di teorie formulate in termini di relazioni fra sistemi relativamente più semplici, per esempio possiamo spiegare i calori specifici dei solidi in termini di teoria quantistica, o i cambiamenti di fase di composti in termini di termodinamica dei miscugli. Questa circostanza deve farci riflettere prima di accettare la conclusione che la organizzazione gerarchica dei sistemi viventi precluda per se stessa una spiegazione meccanicistica dei loro tratti caratteristici.

Esaminiamo però con più cura alcune delle argomentazioni degli organicisti su questo problema. Una di esse è stata enunciata in maniera convincente da J. H. Woodger le cui analisi accurate ma benevole dei concetti organicisti costituiscono degli importanti contributi alla filosofia della biologia. Woodger sostiene che è essenziale distinguere fra *entità chimiche* e *concetti chimici*; egli crede che, se teniamo presente questa distinzione, non è più plausibile assumere che una cosa possa essere descritta in modo soddisfacente esclusivamente in termini di concetti chimici solo perché si ritiene che essa sia composta di entità chimiche. "Un blocco di ferro" sostiene Woodger "è un'entità chimica, e la parola 'ferro' sta per un concetto chimico. Supponiamo però che il ferro abbia la forma di un attizzatoio o di un catenaccio, allora per quanto il ferro sia ancora chimicamente analizzabile negli stessi termini di prima, non può più venir descritto adeguatamente in termini di concetti chimici. Esso ha ora un'organizzazione al di sopra del livello chimico".¹⁶

¹⁵ L. VON BERTALANFFY, *Problems of Life*, c. 4.

¹⁶ J. H. WOODGER, *Biological Principles*, p. 263. Woodger prosegue: "Un organismo è nello stesso tempo un'entità fisica nel senso che è uno degli oggetti dei quali acquistiamo coscienza per mezzo dei sensi, ed una entità chimica nel senso che è suscettibile di analisi chimica esattamente come una qualunque altra entità fisica, da ciò non segue però che esso possa essere descritto in modo pieno e soddisfacente in termini chimici."

Orbene non c'è dubbio che molti degli usi ai quali gli attizzatoi o i catenacci di ferro possono essere adibiti non sono e forse non potranno mai essere descritti in termini puramente fisico chimici. Il fatto però che un pezzo di ferro abbia la forma di un attizzatoio o di un catenaccio impediscono forse di spiegare una vasta classe delle sue proprietà e dei suoi modi di comportamento in termini esclusivamente fisico chimici? La rigidità, la resistenza, la trazione e le proprietà termiche dell'attizzatoio o il meccanismo e le caratteristiche di resistenza del catenaccio sono certamente spiegabili in tali termini, anche se può non essere necessario o conveniente fare appello ad una teoria di fisica microscopica per spiegare tutti questi caratteri. Per conseguenza, il semplice fatto che un pezzo di ferro abbia una certa organizzazione non esclude la possibilità di una spiegazione fisico chimica per alcune delle caratteristiche che esso manifesta come oggetto organizzato.

Alcuni biologi organicisti sostengono che, anche se fossimo capaci di descrivere in tutti i suoi dettagli la composizione fisico chimica di un uovo fecondato, non saremmo tuttavia capaci di spiegare meccanicisticamente il fatto che questo uovo normalmente si segmenta. Secondo la concezione di E. S. Russell, per esempio, noi saremmo in grado di formulare in base alla supposizione enunciata le condizioni fisico chimiche per la segmentazione, ma non saremmo in grado di "spiegare il corso che tale sviluppo segue".¹⁷

Questa tesi risolveva alcuni dei problemi precedentemente discussi in riferimento alla distinzione fra struttura e funzione. A parte questi problemi, però tale tesi sembra fondarsi su un equivoco se non addirittura su una confusione. È ben possibile sostenere che una conoscenza della composizione fisico chimica di un organismo biologico non è sufficiente a spiegare meccanicisticamente il suo modo di azione, non più di quanto lo sia una enumerazione delle parti di un orologio, unita alla descrizione della loro distribuzione spaziale e della loro disposizione a spiegare o a predire il comportamento dell'orologio. Per dare una tale spiegazione, noi dobbiamo anche assumere qualche teoria o insieme di leggi (nel caso dell'orologio la teoria meccanica) che formuli il modo in cui certi elementi si comportano quando si presentano in qualche disposizione o distribuzione iniziale e che rende possibile il calcolo (e quindi anche la predizione) dello sviluppo successivo di quel sistema organizzato di elementi. Inoltre, è concepibile che, anche ammettendo che in un certo stadio della conoscenza scientifica, si sappia descrivere in tutti i dettagli la composizione fisico chimica di un essere vivente, noi potremmo nondimeno essere incapaci di dedurre dalle teorie fisico chimiche in quel momento valide il corso dello sviluppo dell'organismo. In breve è comprensibile che in un dato momento sia soddisfatta la prima ma non la seconda delle condizioni

¹⁷ E. S. RUSSELL, *The Interpretation of Development and Heredity*, p. 186.

per la riducibilità di una scienza ad un'altra. È un equivoco però supporre che una spiegazione pienamente codificata nelle scienze naturali possa consistere soltanto di premesse relative a casi particolari, che formulano le condizioni iniziali e quelle al limite ma non contengono enunciati relativi a leggi o a teorie. È un errore grossolano pretendere che, dal momento che una teoria fisico-chimica (o qualche classe di tali teorie) non è in grado di spiegare certi fenomeni vitali, sia di principio impossibile costruire e fondare una teoria meccanicistica che possa farlo.

D'altro lato, sarebbe sciocco sottovalutare l'enormità del compito che sta di fronte al programma meccanicistico in biologia a causa della complicata organizzazione gerarchica degli esseri viventi. Né dovremmo lasciar da parte come infondate le proteste dei biologi organicisti contro le versioni della tesi meccanicistica che ignorano il fatto di tale organizzazione. Come biologi di tutte le tendenze hanno spesso osservato, non esiste una "sostanza vivente" omogenea e strutturalmente indifferenziata così come esiste la "sostanza rame". Ci sono nondimeno dei meccanicisti che nei loro enunciati sul metodo biologico, se non nella loro effettiva prassi di ricercatori biologici, hanno in effetti asserito il contrario. Vale perciò la pena di insistere sul fatto che l'oggetto delle loro indagini ha costretto i biologi a riconoscere negli esseri viventi non un singolo tipo ma diversi tipi di organizzazione gerarchica, e che un problema centrale nell'analisi dei processi organici di sviluppo è la scoperta delle precise interrelazioni fra tali gerarchie.

La gerarchia più frequentemente citata è quella generata dalla relazione di inclusione spaziale, come nel caso di componenti cellulari, di cellule, di organi e di organismi. Però, sulla base di qualunque ragionevole criterio per far distinzione fra vari livelli di una tale gerarchia, risulta che in moltissimi organismi esistono parti corporee (quali il plasma sanguigno) che non possono essere inserite in tale gerarchia. Inoltre esistono tipi di gerarchie che non sono fondamentalmente spaziali. Esiste così, una "gerarchia di divisione" che ha come elementi delle cellule, e che è generata dalla divisione di uno zigote e delle cellule derivate da esso. I biologi riconoscono anche una "gerarchia di processi": la gerarchia dei processi fisico-chimici in un muscolo, la contrazione del muscolo, la reazione di un sistema di muscoli, la reazione dell'organismo animale come un tutto; e altri tipi che potrebbero essere aggiunti a questo breve elenco. In ogni caso, bisognerebbe notare che nello sviluppo embriologico la gerarchia spaziale cambia, dal momento che in questo processo vengono elaborate nuove parti spaziali. Questo fatto si può esprimere dicendo che quando la gerarchia di divisione di un embrione viene messa a confronto in momenti diversi, la sua gerarchia spaziale in un momento successivo contiene elementi che non esistevano in precedenza. Per conseguenza, i biologi organicisti hanno ovviamente ragione nel pretendere che la ricerca

biologica sia in larga misura connessa con il compito di stabilire relazioni di interdipendenza fra varie strutture gerarchiche nei corpi viventi.¹⁸

Procediamo ora, però, ad enunciare brevemente la forma schematica di un'organizzazione gerarchica (non necessariamente una gerarchia spaziale) con il proposito di valutare in termini generali un aspetto della critica organicistica del meccanicismo biologico. Supponiamo che S sia un qualche sistema biologico analizzabile in tre costituenti fondamentali A , B e C in modo che S possa essere concepito come il complesso relazionale $R(A, B, C)$ dove R è una qualche relazione. Assumiamo inoltre che ciascun costituente fondamentale sia a sua volta analizzabile in costituenti subordinati (a_1, a_2, \dots, a_i) , (b_1, b_2, \dots, b_j) e (c_1, c_2, \dots, c_k) rispettivamente, in modo che i costituenti fondamentali di S possano essere rappresentati come i complessi relazionali $R_A(a_1, \dots, a_i)$, $R_B(b_1, \dots, b_j)$ e $R_C(c_1, \dots, c_k)$. Questi a , b e c sarebbero ulteriormente analizzabili, ma per semplicità, assumeremo soltanto due livelli per la organizzazione gerarchica di S . Stipuliamo altresì che alcuni degli a (e analogamente alcuni b e c) stiano fra loro in varie relazioni speciali, sotto la condizione che siano tutti correlati mediante R_A per costituire A (e condizioni analoghe valgano per i b e per i c). Assumiamo inoltre che alcuni a possano stare in certe altre relazioni speciali che alcuni b e alcuni c , sotto la condizione che i complessi A , B e C siano correlati mediante R per costituire S . Se S costituisce una gerarchia siffatta, uno scopo dell'indagine attorno ad S sarà quello di scoprire i suoi vari costituenti e identificare le regolarità nelle relazioni che connettono questi con S e con gli altri costituenti allo stesso livello o a livelli differenti.

Il perseguimento di questo scopo in generale esigerà la risoluzione di molte serie difficoltà. Per scoprire in che misura esattamente la presenza di A , per esempio, influisca sui caratteri manifestati da S considerato come un tutto, può risultare necessario stabilire come sarebbe costituito S in assenza di A , e così pure come A si comporta quando non è parte costitutiva di S . Possono presentarsi ardui problemi di carattere sperimentale nel tentativo di isolare e di identificare tali influenze causali. Prescindendo totalmente da essi bisogna tuttavia affrontare ad un certo punto la questione fondamentale, quella cioè di vedere se lo studio di A , quando questo si trovi in un ambiente che differisce sotto diversi aspetti da quello fornito da S stesso, possa fornire pertinenti informazioni sul comportamento di A quando si presenta come un costituente effettivo di S . Supponendo, però, di possedere una teoria T , relativa ai componenti a di A , tali che per assunzione gli a siano nella relazione R_A quando si presentano in un ambiente E , è possibile mostrare con l'aiuto di T quali tratti caratte-

¹⁸ Cfr. gli scritti di WOODGER sopra citati e così pure il suo *Axiomatic Method in Biology*, Cambridge, Eng., 1937; e anche L. VON BERTALANFFY, *Problems of Life*, cit., c. 2.

rizzano effettivamente A in quell'ambiente. Sulla base di questa ipotesi può risultare non necessario fare esperimenti su A isolandolo da S . Tale questione cruciale può tuttavia restare senza risposta a meno che la teoria T permetta di trarre conclusioni non solo quando gli a stanno nella relazione R_A in un qualche ambiente artificiale E , ma anche quando essi stanno in quella relazione nel particolare ambiente che contiene i b e i c tutti organizzati congiuntamente secondo le relazioni R_B , R_C , e R . Senza una tale teoria, in generale si darà il caso che la sola maniera per accertare quale ruolo A svolga effettivamente in S , sarà quella di studiare A come un effettivo componente nel complesso relazionale R (A , B , C).

Di conseguenza i biologi organicisti hanno ragione quando insistono sul principio generale che "un'entità che possieda un tipo di organizzazione gerarchica quale quella che si riscontra nell'organismo esige un'investigazione a tutti i livelli e che l'investigazione di un livello non può sostituire la necessità di investigare i livelli superiori della gerarchia." Questo principio, invece, non comporta l'impossibilità di spiegazioni meccanicistiche per i fenomeni vitali, per quanto i biologi organicisti sembrino talora crederlo. In particolare se gli a , i b e i c dello schema precedente sono le entità submicroscopiche della fisica e della chimica, se S è un organismo biologico e T una teoria fisico chimica, non è impossibile che le condizioni del presentarsi dei complessi relazionali A , B , C , e S possano venire specificate nei termini dei concetti fondamentali di T e che inoltre le leggi concernenti i comportamenti di A , B , C , e S possano venir dedotte da T . Tuttavia, come abbiamo sostenuto nel capitolo precedente, il fatto che una scienza (quale la biologia) sia effettivamente riducibile a una qualche scienza primaria (quale la fisico chimica) dipende dalla natura della particolare teoria adottata nella disciplina primaria nel momento in cui la questione viene posta.

4. Dobbiamo occuparci da ultimo di quella che sembra essere la fondamentale ragione dell'atteggiamento di rifiuto assunto dai biologi organicisti nei confronti della spiegazione meccanicistica dei fenomeni vitali, vale a dire la dichiarata "unità organica" degli esseri viventi e la conseguente impossibilità di analizzare le totalità biologiche come somme di parti indipendenti. Se questa ragione sia valida, dipende ovviamente dai sensi che vengono connessi alle espressioni cruciali "unità organica" e "somma". I biologi organicisti hanno fatto poco per chiarire i significati di questi termini; una chiarificazione almeno parziale è stata tentata nell'attuale e nel precedente capitolo del presente volume. Alla luce di queste ultime discussioni la questione ora in esame può essere liquidata in modo relativamente breve.

¹⁹ J. H. WOODGER, *Biological Principles*, cit. p. 316.

Assumiamo, come fanno i biologi organicisti, che un essere vivente possieda una "unità organica", nel senso di essere un sistema teleologico il quale presenta un'organizzazione gerarchica di parti e di processi, in modo che le varie parti stiano una rispetto all'altra in relazioni complesse di interdipendenza causale. Supponiamo inoltre che le particelle e i processi della fisica e della chimica costituiscano gli elementi del livello più basso di questo sistema gerarchico, e che T costituisca attualmente il corpo della teoria fisico chimica. Associamo infine alla parola "somma" nell'enunciato "un organismo vivente non è la somma delle sue parti fisico chimiche" il senso di riducibilità distinto nel capitolo precedente. L'enunciato verrà allora inteso come un'asserzione del fatto che, anche quando sono fornite opportune condizioni fisico chimiche di partenza e al limite, non è possibile dedurre da T la classe di leggi e di altri enunciati riguardanti gli esseri viventi che vengono comunemente considerati come appartenenti al dominio della biologia.

L'enunciato sottoposto ad un'importante restrizione e interpretato in questa maniera può benissimo essere vero, e rappresenta probabilmente l'opinione della maggior parte fra gli studiosi dei fenomeni vitali, siano essi o meno sostenitori della biologia organismica.

Tale enunciato è ampiamente accettato, malgrado il fatto che in molti casi si siano accertate le condizioni fisico chimiche per i processi biologici. Di norma l'uovo non fecondato del riccio di mare per esempio non si sviluppa in un embrione. Alcuni esperimenti però hanno mostrato che se tali uova vengono dapprima poste per circa due minuti in acqua di mare cui sia stata aggiunta una certa quantità di acido acetico e in seguito trasportate in normale acqua marina, esse poco tempo dopo cominciano a segmentare e a svilupparsi in larve. Per quanto però questo fatto costituisca una prova molto convincente della natura fisico chimica dei processi biologici, esso non è stato fino ad ora completamente spiegato in termini fisico chimici ove si intenda in senso stretto la parola 'spiegare'. Infatti nessuno ha fino ad ora dimostrato come l'enunciato che le uova di riccio di mare sono suscettibili di partenogenesi artificiale sotto le condizioni sopra indicate, sia deducibile dalle assunzioni puramente fisico chimiche T . Per conseguenza se i biologi organicisti si limitano a sostenere *de facto* la tesi che, per nessuno dei sistemi i quali possiedono l'unità organica degli esseri viventi, è stato provato fino ad ora che esso consista nella somma (nel senso di riducibilità) dei loro costituenti fisico chimici, tale tesi risulta ben fondata.

D'altro lato, date le condizioni predominanti della nostra conoscenza, il fatto che la partenogenesi artificiale del riccio di mare non sia deducibile da T non dovrebbe costituire motivo di sorpresa. La deduzione non è possibile quanto meno perché non sono attualmente soddisfatti gli elementari requisiti logici per realizzarla. Nessuna teoria

può spiegare le operazioni di un qualunque sistema concretamente dato a meno che non venga enunciato un insieme completo di condizioni iniziali e di condizioni limite per l'applicazione della teoria in maniera consona alle nozioni specifiche impiegate nella teoria stessa. Non è possibile per esempio dedurre la distribuzione delle cariche elettriche su un dato conduttore isolato semplicemente a partire dalle equazioni fondamentali della teoria elettrostatica. Ulteriori informazioni relative ai casi particolari devono venire fornite in una forma prescritta dalla natura della teoria — in questo caso informazioni sulla forma e sulle dimensioni del conduttore, sulle grandezze e la distribuzione delle cariche elettriche nelle vicinanze del conduttore e sul valore della costante dielettrica del mezzo in cui il conduttore si trova. Nel caso delle uova di riccio di mare però, per quanto sia presumibilmente nota la composizione fisico chimica dell'ambiente in cui le uova non fecondate si sviluppano in embrione, la composizione fisico chimica delle uova stesse non è ancora conosciuta e non può venir formulata per essere inclusa fra le indispensabili condizioni relative al caso particolare per la applicazione di *T*. Più in generale, noi non conosciamo al presente la dettagliata composizione fisico chimica di un qualunque organismo vivente né le forze che possono agire fra gli elementi al livello più basso della sua organizzazione gerarchica. Siamo perciò attualmente nell'impossibilità di enunciare in termini esclusivamente fisico chimici le condizioni iniziali e le condizioni limite richieste per l'applicazione di *T* ai sistemi vitali. Fino a tanto che non ci riesca di fare questo, ci è preclusa di principio la possibilità di dedurre leggi biologiche dalla teoria meccanicistica. Per conseguenza, sebbene possa effettivamente essere vero che un organismo vivente non è la somma delle sue parti fisico chimiche, le prove disponibili non ci permettono di asserire la verità o la falsità di questa affermazione.

Per quanto il punto testé posto in rilievo sia basilare, i biologi organicisti sembrano spesso trascurarlo. Essi talora obiettano che, mentre le spiegazioni meccanicistiche sembrano possibili per tratti caratteristici delle parti organiche quando queste vengono studiate in "astratto" (o isolate) dall'organismo come totalità, tali spiegazioni non sono possibili quando le parti funzionano congiuntamente in reciproca dipendenza con costituenti effettivi di un essere vivente. Questa tesi però ignora il fatto cruciale che le condizioni iniziali richieste per una spiegazione meccanicistica dei tratti caratteristici delle parti organiche che si manifestano quando le parti esistono *in vitro* sono generalmente insufficienti per spiegare meccanicisticamente il funzionamento congiunto delle parti in un organismo biologico. È evidente infatti che una parte quando è isolata dal resto dell'organismo è situata in un ambiente che è per solito differente dal suo ambiente normale, dove essa sta in relazione di reciproca dipendenza con le altre parti dell'organismo. Ne segue perciò che le condizioni iniziali, richieste per

poterci servire di una data teoria onde spiegare il comportamento di una parte isolata, saranno diverse anche dalle condizioni iniziali richieste per l'uso di quella teoria onde spiegare il comportamento nell'ambiente normale. Di conseguenza, sebbene probabilmente esorbiti dalle nostre effettive capacità al presente, o in un futuro prevedibile, lo specificare le condizioni relative al caso particolare richieste per una spiegazione meccanicistica del funzionamento delle parti organiche *in situ*, non vi è nulla nella logica della situazione che limiti tali spiegazioni di principio al comportamento delle parti organiche *in vitro*.

Bisogna aggiungere un commento finale. È importante distinguere la questione circa la possibilità di spiegazioni meccanicistiche dei fenomeni vitali dal problema, del tutto diverso anche se ad essa connesso, della possibilità di riuscire a sintetizzare in laboratorio organismi viventi a partire da materiali non viventi. Molti biologi sembrano rifiutare la prima possibilità a causa del loro scetticismo circa la seconda. Di fatto però i due problemi sono logicamente indipendenti. In particolare, per quanto possa darsi che non diventerà mai possibile costruire artificialmente organismi viventi, non ne segue che i fenomeni vitali siano perciò non suscettibili di essere spiegati meccanicisticamente. Un'occhiata ai risultati delle scienze fisiche sarà sufficiente per fondare questa tesi. Noi non abbiamo infatti il potere di costruire nebulose o sistemi solari, e tuttavia possediamo teorie fisico chimiche nei cui termini si riescono a capire in modo abbastanza soddisfacente le nebulose e i sistemi planetari. Inoltre mentre la moderna fisica e la moderna chimica forniscono spiegazioni esaurienti delle varie proprietà degli elementi chimici in termini di struttura elettronica degli atomi, non vi sono ragioni che obblighino a credere che, per esempio, gli uomini saranno un giorno in grado di fabbricare idrogeno unendo artificialmente i componenti subatomici di tale sostanza. La specie umana d'altro lato è entrata in possesso di tecniche (per esempio, nella costruzione di abitazioni, nella produzione di leghe, e nella preparazione dei cibi) molto tempo prima che fossero disponibili spiegazioni adeguate per i tratti caratteristici degli oggetti artificialmente costruiti.

I biologi organicisti, nondimeno, sviluppano spesso la loro critica al programma meccanicista in biologia come se questo fosse equivalente all'acquisizione di tecniche per smontare letteralmente gli organismi viventi e per ricostruirli poi manifestamente a partire dalle loro parti smembrate e indipendenti. Le condizioni per conseguire una spiegazione meccanicistica dei fenomeni vitali, però, sono del tutto diverse da quelle richieste per la fabbricazione artificiale di organismi viventi. Il primo compito dipende dalla costruzione di teorie fattualmente garantite delle sostanze fisico chimiche; il secondo dipende dalla disponibilità di adeguati materiali fisico chimici e dalla escogitazione di tecniche efficaci per combinarli e controllarli. Forse è improbabile che si riesca mai a sintetizzare in laboratorio degli organismi viventi

fuorché con l'aiuto di teorie meccanicistiche dei processi vitali; in assenza di tali teorie la fabbricazione artificiale di esseri viventi, qualora venga realizzata un giorno, sarebbe il risultato di un accidente fortunato ma improbabile. In ogni caso le condizioni per espletare questi compiti manifestamente diversi non sono identiche, e l'uno potrebbe essere un giorno realizzato senza che lo sia l'altro. Per conseguenza, un rifiuto della possibilità di spiegazioni meccanicistiche in biologia sulla base della tacita assunzione che le condizioni suddette effettivamente coincidono, non è una tesi fondata su motivi convincenti.

La conclusione principale di questa discussione è che i biologi organicisti non hanno dato un fondamento all'assoluta autonomia della biologia o all'intrinseca impossibilità delle spiegazioni fisico chimiche dei fenomeni vitali. Nondimeno l'accento che essi pongono sull'organizzazione gerarchica degli esseri viventi e sulla reciproca dipendenza delle parti organiche non è fuori posto. Infatti la biologia organismica, per quanto non abbia giustificato in modo convincente tutte le sue tesi, ha dimostrato un punto importante e cioè che il conseguimento di spiegazioni meccanicistiche per i fenomeni vitali non è una condizione *sine qua non* per uno studio valido e fecondo di tali processi. Non c'è più motivo per rifiutare una teoria biologica (per esempio la teoria genica della eredità) per il fatto che non è meccanicistica (nel senso in cui noi abbiamo adoperato il termine 'meccanicistico') più di quanto ci sia motivo di scartare alcune teorie fisiche (per esempio la moderna teoria quantistica) in base al fatto che essa non è riducibile ad una teoria di un'altra branca della scienza fisica (per es. alla meccanica classica). Una saggia strategia di ricerca può effettivamente esigere che una data disciplina sia coltivata almeno durante un certo periodo del suo sviluppo come una branca relativamente indipendente della scienza, piuttosto che come un'appendice di qualche altra disciplina, anche se le teorie della seconda sono più ampie e meglio fondate di quanto non lo siano i principi esplicativi della prima. La protesta della biologia organismica contro il dogmatismo che spesso accompagna il punto di vista meccanicistico in biologia è quindi salutare.

C'è però un rovescio della medaglia per quel che concerne la critica fatta dagli organicisti a questo dogmatismo. I biologi seguaci di questa teoria scrivono talora, come se qualunque analisi di processi vitali in attività di parti distinguibili di esseri viventi comportasse una visione gravemente distorta di questi processi. E. S. Russell, per esempio, ha sostenuto che nell'analizzare le attività di un organismo in processi elementari "qualcosa viene perduto, in quanto l'azione del tutto ha una certa capacità di unificazione e una certa completezza che viene lasciata da parte nel processo di analisi".²⁰ Analogamente J. S. Haldane

²⁰ E. S. RUSSELL, *The Interpretation of Development and Heredity* cit. p. 171

sostenne che noi non possiamo applicare il ragionamento matematico ai processi vitali, dal momento che la trattazione matematica ammette la separabilità degli eventi nello spazio "che non esiste per la vita come tale. Quando trattiamo della vita noi trattiamo di una totalità indivisibile".²¹ H. Wildon Carr un filosofo che accolse la concezione organicistica e ne divenne uno dei sostenitori dichiarò che "la vita è individuale; esiste solo negli esseri viventi, e ciascun essere vivente è indivisibile, esso è un tutto non costituito di parti".²²

Tali dichiarazioni rivelano un atteggiamento mentale che è di ostacolo all'avanzamento della ricerca biologica almeno quanto lo è il dogmatismo dei meccanicisti intransigenti. In biologia come nelle altre branche della scienza la conoscenza viene acquisita solo attraverso l'analisi o l'uso del cosiddetto "metodo astrattivo" — concentrandosi su un ristretto numero di proprietà godute dalle cose, mettendo tra parentesi (almeno per un certo tempo) le altre, e investigando i caratteri così scelti per lo studio sotto condizioni controllate. Anche i biologi organicisti procedono in questo modo, malgrado quello che possono dire, in quanto non c'è alcuna reale alternativa a questo modo di procedere. Per esempio sebbene J. S. Haldane formalmente abbia proclamato la "indivisibile unità" degli esseri viventi, i suoi studi sulla respirazione e sulla chimica del sangue non furono condotti sulla base della considerazione del corpo come un tutto indivisibile. Le sue ricerche implicavano l'esame delle relazioni fra il comportamento di una parte del corpo (per esempio la quantità di anidride carbonica assorbita dai polmoni) e il comportamento di un'altra parte (l'azione chimica dei globuli rossi del sangue). Al pari di chiunque contribuisca all'avanzamento della conoscenza, i biologi organicisti debbono essere astrattivi e analitici nelle loro procedure di ricerca. Essi devono studiare le attività di varie parti separate degli organismi viventi sotto condizioni scelte e spesso artificialmente istituite — sotto pena di confondere oscuri enunciati abbondantemente infarciti di locuzioni come "totalità", "unificazione" e "unità indivisibili" con espressioni dotate di autentico valore conoscitivo.

²¹ J. S. HALDANE, *The Philosophical Basis of Biology*, London, 1931, p. 14.

²² Citato in L. HOGGEN, *The Nature of Living Matter*, London, 1930, p. 226.