

1. *La 'terra di nessuno'*

Il tema di questo convegno richiama inevitabilmente l'opera di Mario Ageno, il fisico e -mi verrebbe da dire- il filosofo naturale che più si è avventurato, come lui diceva, in quella "terra di nessuno" che unisce e separa fisica e biologia.

Serve forse un brevissimo cenno biografico: nato a Livorno nel 1915, Ageno ha completato gli studi di fisica a Roma, al vecchio istituto di Via Panisperna. "Ma non sono uno dei ragazzi di Via Panisperna" dichiarava con qualche pretesa di umiltà (in realtà la coscienza del proprio valore lo ha sempre accompagnato) "Sono arrivato all'Istituto nel 1934, al terzo anno di fisica, quando il gruppo di Fermi era al massimo della sua fama. Ho partecipato agli ultimi due anni di vita del vecchio Istituto e ho assistito alla dispersione del gruppo".

Le parentesi della guerra, da lui combattuta in Africa, e della malattia (una forma di tubercolosi ossea) lo tennero lontano per diversi anni dall'attività accademica, ma non da un'intensa attività di studioso. E' in questo periodo che si esprime e si precisa il suo interesse per la biologia di base, guardata dal punto di vista del fisico. Tra l'altro traduce in italiano (la traduzione sarà pubblicata nel 1947) il famoso testo "Che cos'è la vita?" di Erwin Schroedinger, in cui sono presentati gli straordinari contenuti di alcune conferenze tenuta da Schroedinger a Dublino tra il 1943 e il 1945. (Le date sono importanti perché le prime, timide, ipotesi sul ruolo del DNA derivano dagli esperimenti di Avery e coll. del 1944).

Permettetemi di mostrarvi alcune frasi tolte da questo testo:

"Sono i cromosomi presenti nell'uovo fecondato -o probabilmente solo una fibra che costituisce l'ossatura di ciò che noi vediamo al microscopio come cromosoma- a contenere in una specie di codice cifrato l'intero disegno del futuro sviluppo dell'individuo e del suo funzionamento nello stadio della maturità. Ciascuna delle due serie di cromosomi contiene l'intero testo del codice".

"La parte più essenziale di una cellula vivente, la fibra dei cromosomi, può veramente dirsi un 'cristallo aperiodico'... La differenza di struttura [rispetto ad un cristallo periodico] è la stessa che corre tra un'ordinaria carta da parati, in cui lo stesso disegno è ripetuto indefinitamente con periodicità regolare, ed un capolavoro di ricamo, per esempio un arazzo di Raffaello...un disegno elaborato, coerente, significativo."

(E. Schroedinger, *Che cos'è la vita*, trad. di M. Ageno, Sansoni 1947)

Dice ancora Schroedinger, nella sua prefazione:

“Noi abbiamo ereditato dai nostri antenati l’acuto desiderio di una conoscenza unificata, che comprenda tutto lo scibile”.

Ci si può rendere conto facilmente della forza che un simile stimolo esercita su una mente già preparata, che si prefigge di risolvere la situazione **‘intellettualmente insoddisfacente’** in cui versano le due discipline. Di fatto, la loro integrazione in un unico quadro concettuale può apparire tanto remota da portare anche grandi menti (lo vedremo tra poco) verso forme di vitalismo.

Entrato nei ruoli dell’Istituto Superiore di Sanità, nel laboratorio di Fisica allora diretto da Giulio Cesare Trabacchi, Ageno ne assunse la direzione nel 1959, iniziando la sua instancabile opera per fare del laboratorio un centro di ricerca a livello internazionale e nello stesso tempo un crogiolo di scambi culturali tra discipline scientifiche diverse, e, in particolare, di interazione con biologi e medici quali Franco Graziosi, Luigi Silvestri, Giulio Maccacaro). Io ho avuto la fortuna di partecipare tra il 1959 e il 1969 a questa vivacissima atmosfera, e di seguire da vicino l’evoluzione del pensiero di Ageno nel campo che qui interessa, ovvero usando le sue parole:

“attraversare l’oceano che separa i due immensi continenti delle scienze fisiche e delle scienze biologiche”

“Come si possono mettere d’accordo, collegare tra loro senza contraddizioni e conflitti nell’unità del mondo la legalità della fisica e la storicità della biologia?”

(M. Ageno, Punti cardinali, 1992 Sperling e Kupfer, p.179)

Questa urgenza di ricercare il nesso relazionale profondo tra campi diversi del sapere lo porta continuamente a risalire all’indagine critica sulla validità di concetti e dei procedimenti usati. Ciò si rivela, ad esempio, nei titoli di diverse conferenze -veri e propri messaggi scientifici: “ Le complesse e difficili relazioni tra scienza e realtà”, “Punti di contatto tra fisica e biologia”, “Transizione dal non vivente al vivente”, “Dalla legalità della fisica alla storicità della biologia”.

E’ interessante notare come in un primo tempo egli preferisca evitare il termine ‘biofisica’

“parola ormai logora, che viene usata senza un discernimento critico e non significa pertanto praticamente più nulla”. (“Linee di ricerca in fisica biologica”, Quaderni dell’Accademia Nazionale dei Lincei, 1967, quaderno 102, p. 6)

Nel seguito egli riempirà invece di contenuti quella parola vuota -biofisica- e la utilizzerà in modo originale e profondo. Negli “Appunti per le lezioni di Biofisica” (dispense per gli studenti) si trova questa definizione:

“Anche se la biofisica ha innegabilmente carattere interdisciplinare, i problemi scientifici di cui essa si occupa, le domande cui cerca di dare una risposta, sono però sempre problemi e domande che appartengono al campo della biologia. Biofisica è dunque un certo modo di organizzare e interpretare i fatti biologici, o almeno una parte di essi. Nessuna attività di ricerca priva di una chiara problematica biologica può essere qualificata biofisica.”

Resta naturalmente da chiarire in che cosa la biofisica si differenzi dalla biologia... *La biofisica assume come dati di partenza i principi generali della fisica e tutte le note conseguenze che da essi derivano per via deduttiva, e si propone di spiegare in base ad essi la possibilità dell'insorgere di sistemi materiali quali gli organismi viventi, nonché l'intera fenomenologia cui questi danno luogo.*

(M. Ageno, Introduzione alla biofisica, 1975 A. Mondadori, p. 21)

Il riduzionismo che traspare da questa definizione è però subito temperato dalla domanda:

Siamo noi già in possesso di strumenti concettuali adeguati, utili non soltanto a descrivere in modo razionale i fatti fondamentali della fisica e della chimica, ma tali da permettere di avviare anche l'inquadramento dei fenomeni della vita? La principale fonte di dubbio in relazione a questa domanda sta nel fatto che non disponiamo attualmente di una teoria fisica che si sia dimostrata capace di inquadrare, almeno in linea di principio, tutti i fenomeni fisici conosciuti. Tutte le nostre attuali teorie hanno una validità limitata e noi sappiamo dove si trovano i limiti di validità di ciascuna.

(ibidem, pp. 22-23)

Ricordi personali mi permettono a questo punto di corredare il discorso con l'immagine del cartografo, impegnato a rappresentare la superficie sferica della terra con una serie di mappe bidimensionali, ciascuna delle quali (rivedo il gesto delle mani a indicare una serie di piani tangenti una sfera ideale) fornirà una rappresentazione fedele solo nella sua parte centrale, talché il povero cartografo non riuscirà a far sovrapporre i bordi esterni delle sue mappe.

Ritornando alla biofisica, ricordo come usava spesso dire che, insomma, **“la biofisica non è altro che biologia fatta utilizzando l'apparato concettuale del fisico”**. Ma, lungi dall'attribuirgli un valore assoluto o comunque privilegiato, questo stesso “apparato concettuale” era peraltro oggetto, per Ageno, di continua revisione e rielaborazione critica **“per affinare gli strumenti per pensare”** (i concetti) **“in un processo a spirale”**.

Va qui ricordata -anche se brevemente- quella parte del pensiero di Ageno che riguarda da un lato l'arbitrarietà dei sistemi di concetti adottati per costruire una descrizione del mondo, dall'altro la natura delle leggi fisiche:

Abbiamo visto che, dato un certo sistema di concetti comunque definiti, ne possiamo sempre costruire altri in numero praticamente illimitato, molti dei quali corrispondono a classi empiricamente vuote. Praticamente illimitate sono infatti le capacità combinatorie della nostra mente e soltanto l'esperienza può indicarci quali combinazioni abbiano rispondenza nella realtà e quali no.

I concetti fondamentali della fisica si presentano nel loro complesso come un sistema di concetti ciascuno dei quali è stato definito operativamente con un procedimento particolare: sembra dunque che si tratti di concetti indipendenti. Essi rappresentano degli strumenti mentali, liberamente scelti, fra una enorme varietà di alternative possibili, allo scopo di descrivere il meglio possibile i dati di osservazione e di esperienza. ...

Le *regole mentali* che la scienza deve introdurre per porre dei limiti alla quasi illimitata libertà di pensare assicurataci dagli strumenti concettuali prescelti, limiti che devono coincidere con quelli individuati dai dati empirici, altro non sono che le leggi naturali: quelle leggi che fungono da postulati nei sistemi deduttivi della fisica. Ed è chiaro che la forma specifica di queste leggi dipende dal sistema di concetti prescelto. ... Cambiando il sistema di concetti, anche il sistema di leggi, ovviamente, non può che cambiare. E siccome la scelta del sistema di concetti è in larga misura arbitraria, così si può dire che le leggi siano in larga misura soggettive, cioè dipendenti dall'arbitrarietà esistente nella scelta dei concetti fondamentali da un lato, e dall'altro non imposte alla natura da Dio, ma da noi stesse imposte alla troppo grande capacità combinatoria del nostro pensiero.

(M. Ageno, *Introduzione alla biofisica*, 1975 A. Mondadori, pp. 123-124)

2. Riduzionismo e vitalismo: la 'terza via'

Chiarito dunque il valore relativo dei sistemi di concetti che potranno servire a dare delle rappresentazioni localmente corrette (pensiamo alle mappe del cartografo), rimane aperta la grande questione: è possibile una 'fisicalizzazione' della biologia, cioè una riduzione dei fenomeni della vita che ne renda possibile la previsione nell'ambito delle leggi fisiche?

Oggi nessuno invoca più un "vis vitalis", ma nel corso degli ultimi settant'anni diverse voci si sono levate per affermare una non riducibilità di principio, che rende incolmabile lo spazio tra le due discipline. Se le affermazioni di Fantappiè e Severi (circa 1942) sulla non applicabilità del secondo

principio della termodinamica ai sistemi viventi sono da tutti ritenute erranee, di ben maggiore popolarità godono concezioni neo-vitalistiche, inclusa quella, pur autorevole, del premio Nobel (1963) per la fisica, Eugene Paul Wigner (E. P. Wigner, *Simmetries and Reflexions. Scientific Essays.* Indiana University Press, 1967). Secondo questa concezione, l'impossibilità di inquadrare i fenomeni della vita nelle teorie scientifiche attuali sarebbe dimostrata da un lato dal (presunto!) carattere direzionale dell'evoluzione biologica da organismi più 'semplici' verso organismi più 'complessi', dotati di proprietà emergenti, non riducibili a quelle dei sistemi più 'semplici', dall'altro dalla consapevolezza di sé (consciousness) tipica degli umani, che esulerebbe dai sistema di concetti della fisica.

Torneremo in seguito sull'argomento teleologico, ancora oggi difeso con vigore dai sostenitori del Disegno Intelligente (ID), per esaminare ora la via seguita da Ageno per liberarsi dalle ristrettezze dell'annosa polemica tra vitalismo e riduzionismo. E' questa 'terza via' che Ageno imbocca con decisione a partire dal 1988.

Il primo passo lungo questa via prende le mosse da un esperimento concettuale, in cui si istituisce un parallelo tra un sistema biologico (una popolazione batterica in fase di crescita esponenziale in un mezzo di coltura) ed un sistema fisico (un nucleo di lantanio immerso in un 'bagno' di neutroni lenti) che presenta col primo significative analogie: la cattura di neutroni lenti fa infatti aumentare le dimensioni del nucleo fino a provocarne la fissione. In entrambi i casi il processo di divisione ha carattere largamente stocastico e può verificarsi in una quantità di modi diversi. Il punto è che nel sistema fisico il numero di modi diversi in cui si può realizzare la fissione è assai limitato: infatti si tratta di dividere in due gruppi stabili i circa 250 nucleoni (neutroni + protoni) che costituiscono il nucleo di partenza. Nel caso del batterio le cose vanno diversamente. Ammettiamo che il batterio (per fissare le idee, *Escherichia coli*) possa essere caratterizzato dal suo DNA, e in particolare dalle sequenze dei suoi geni (in numero di circa 4000) e dalla loro disposizione. (Ricordiamo che ogni gene, consistente in una determinata sequenza dei 4 nucleotidi, è sottoposto a regolazione nell'espressione da parte di sequenze poste a monte o a valle). Dobbiamo poi tener presente che nel corso della duplicazione si possono verificare mutazioni (variazioni nella sequenza) ed anche spostamenti lungo il cromosoma che possono variare la posizione dei geni rispetto alle zone di regolazione. Mentre queste variazioni non alterano sostanzialmente le proprietà fisiche della molecola del DNA, le proprietà biologiche, legate all'espressione dei geni, ne risultano profondamente alterate. Quanti sono i tipi di batteri biologicamente distinguibili che si possono generare in questo modo? Ageno valuta una stima per difetto, che risulta in un numero strabiliante: 10^{1200} . Tanto per fare un confronto, ricordiamo che il numero di nucleoni (protoni + neutroni) nell'universo è stimato essere dell'ordine di 10^{80} .

Le conseguenze che derivano da queste considerazioni sono, sottolinea Ageno, **“di grandissima portata”**. Ecco come vengono riassunte nella conferenza “Tra fisica e biologia” tenuta in occasione del 25° anniversario della fondazione della Società Italiana di Biofisica e Biologia Molecolare (Martina Franca, 12-14 ottobre 1988), da cui sono tolti i brani seguenti (sottolineature nel testo).

Abbiamo appena visto che esistono situazioni oggettive completamente definite in cui non si ha un piccolo numero di possibili vie alternative, tutte aventi probabilità quantitativamente significative, ma si ha invece a che fare con un numero fantasticamente elevato di possibilità alternative, tutte reali ed immanenti, e tutte pressoché equivalenti dal punto di vista probabilistico.

In un caso del genere il concetto stesso di probabilità perde senso. Supponiamo infatti che la teoria ci fornisca, per la comparsa di una determinata alternativa in una popolazione, una probabilità dell'ordine di 10^{-1200} . Se la popolazione comprende, per esempio, 10^{30} individui, a che cosa ci può servire mai quel dato? Non possiamo verificarlo rilevando sperimentalmente la frequenza con cui quell'alternativa effettivamente si verifica. E non possiamo neppure servirci di quel dato per fare una qualche previsione sul comportamento futuro del sistema che interessa... Al limite dunque, quando il numero delle alternative diventa fantasticamente elevato e tutte sono tra loro pressoché equivalenti, perdono senso le stesse leggi fondamentali su cui si basa, nel caso dei sistemi più semplici, il calcolo delle probabilità delle vie evolutive. L'idea stessa di legge fisica in definitiva entra in crisi. Al campo fenomenico in cui tutto ciò avviene appartiene in particolare il mondo della vita.

3. Autonomia della biologia

Si prospetta così una possibile teoria generale in cui non vi è più alcuna separazione o contrapposizione tra mondo fisico e mondo biologico. Occorre però subito osservare che, malgrado ogni possibile apparenza in contrario, non siamo affatto di fronte ad una fiscalizzazione della biologia. Di fatto, ciò a cui portano le considerazioni precedenti è proprio il contrario: la fondazione, chiara e definitiva, dell'autonomia della biologia come scienza, nel momento stesso in cui si chiarisce il modo in cui il propriamente “biologico” emerge dal sottofondo chimico-fisico che realizza il meccanismo del vivente.

Questo ponte, questo legame, ci offre ora una guida sicura per capire come si possa passare dal sistema di concetti della fisica al sistema di concetti della biologia, e come questa operazione logica -un passaggio al limite che vanifica il significato di legge- apra veramente la strada alla unificazione, in linea di principio, di quelle due descrizioni del mondo, diverse e contrastanti, di

cui ci eravamo abituati a far uso contemporaneo: alternativamente per il mondo fisico e per il mondo biologico.

Una teoria di tipo biologico è una teoria che, anche se non è predittiva, riesce a organizzare un complesso di fatti particolari che spesso trovano ordinamento e una logica unicamente sulla base delle loro concatenazioni storiche. Alle origini di questa anomia ci sono sempre, come abbiamo detto, scelte tra alternative fisicamente indifferenti. Ed è entro questa indifferenza fisica che trova spazio il “biologico” per svilupparsi.

La seconda tappa del cammino percorso da Ageno (continuo a citare brani della già citata conferenza del 1988 perché fornisce un'esposizione più sintetica, ma gli stessi argomenti sono diffusamente trattati in M. Ageno, “Punti cardinali”, 1992 Sperling e Kupfer) passa per una nuova definizione del vivente come appartenente alla grande categoria dei “sistemi coerenti”. A differenza dai “**sistemi legati, le cui parti sono tenute insieme da un'energia di legame, come avviene in un atomo o in una galassia, nei sistemi coerenti l'energia di legame svolge un ruolo marginale o addirittura trascurabile**”.

Ma non si tratta di sistemi rari e strani: un fiume, un anello di fumo, un ciclone appartengono a questa categoria, così come molte macchine create dall'uomo, o le celle di convezione che si formano in uno strato di fluido sottoposto a un gradiente di temperatura.

Molti sono i sistemi che possiamo osservare quotidianamente, che condividono il fatto di dovere la loro identità non tanto ad interazioni tra parte e parte del sistema (come avviene ad esempio in un cristallo), quanto al modo coordinato con cui le parti del sistema rispondono al flusso di energia. Basta pensare ad un corso d'acqua, un canale in leggera pendenza: ogni masserella di fluido si muove “coerentemente” con le altre, guidata dal gradiente di energia potenziale. Se poi la velocità d'insieme supera un determinato valore (legato alla viscosità del fluido) si formano dei vortici: anche qui le piccole masse di fluido si muovono “coerentemente” -e non perché siano legate tra loro- questa volta su traiettorie circolari concentriche. Anche un anello di fumo viene da noi individuato non perché le particelle che lo compongono si attraggano tra loro, ma perché avendo ricevuto nello stesso istante un impulso di energia mantengono per un certo tempo una “coerenza” nel loro moto, prima che l'anello si dissolva disperdendo l'energia inizialmente ricevuta negli urti con le molecole del mezzo.

Per mantenersi, alcuni sistemi coerenti hanno bisogno non solo della continua immissione di energia pregiata che essi dissipano in calore (sono sistemi ‘dissipativi’), ma anche -come nel caso del fiume- della continua immissione di materiali. Nel caso del fiume questi vengono restituiti alla

foce. In altri casi possono rimanere all'interno del sistema stesso, magari subendo delle trasformazioni chimiche: in questi casi il sistema ovviamente aumenta di dimensioni nel tempo. Ciò è esattamente quello che avviene in una cellula in crescita, che ha bisogno di essere rifornita dall'esterno non solo di energia pregiata (sotto forma di energia chimica, quando non sa usare direttamente l'energia solare), ma anche di materiali nutritivi. Questi verranno elaborati in processi interni "programmati" in modo da mantenerne la coerenza. Da un punto di vista termodinamico si tratta di processi dissipativi, globalmente irreversibili.

Tali sistemi sono abitualmente sede di processi interni caratterizzati da un certo grado di ordine, in cui sono coinvolte le sub unità costituenti. Ed è essenzialmente l'ordine, la coerenza di questi processi che, con la sua estensione nel tempo e nello spazio, caratterizza e insieme delimita il sistema. (...)

In un organismo vivente si ritrovano tutte le caratteristiche essenziali comuni a questi sistemi, ovvero processi interni trasformativi rigorosamente ordinati; una riserva interna di energia in forma pregiata (per la maggior parte dei viventi in forma chimica) che è il corrispettivo e la garanzia di quell'ordine; riserva che viene continuamente erosa da processi dissipativi e continuamente ricostituita da rifornimento esterno. (...)

In definitiva:

I viventi altro non sono che sistemi chimici coerenti dotati di programma.

Passiamo ora ad osservare che più sistemi coerenti possono sempre, mediante uno scambio tra loro di segnali convenienti, realizzare una coerenza più vasta, mettendo tra loro in fase, per così dire, i processi interni di ciascun sistema con quelli di tutti gli altri. Si forma allora, quando questo avviene, un nuovo sistema coerente ad un livello gerarchicamente più elevato. Basta, a questo scopo, che i sistemi componenti possano scambiarsi dei messaggi atti a regolare e accordare tra loro i relativi processi interni.

Si passa così ad esempio da organismi unicellulari a organismi pluricellulari, o da individui isolati a società organizzate. Si pensi ad esempio al complesso sistema di segnali che vige presso certe società di insetti, organizzate in caste in base ad una specializzazione morfologica e funzionale.

Questo tipo di specializzazione cede progressivamente il passo lungo la via evolutiva ad una specializzazione comportamentale (ad esempio nelle società di mammiferi) mentre si moltiplicano e si perfezionano le tecniche per lo scambio dei segnali. (...)

Si va così formando un patrimonio sociale che viene trasmesso da una generazione alla successiva e che consiste in un particolare modo adattativo di conoscere, cioè di descrivere e

interpretare, l'ambiente e la società stessa. Accanto all'evoluzione biologica fa la sua comparsa un nuovo processo evolutivo, per il quale si apre un nuovo spazio di indifferenza biologica, costituito da un numero praticamente illimitato di comportamenti diversi a priori possibili. Utilizzando questo nuovo spazio, emerge così, nella storia, l'evoluzione socio-culturale, cui piuttosto che il modello darwiniano meglio si addice un modello lamarckiano. (...)

Si conclude così la traiettoria ideale che collega, sarei tentato di dire, il sasso all'uomo. Il mondo della vita con le sue caratteristiche peculiari ove dominano l'individualità e il particolare si è rivelato essere null'altro che un caso limite di una fenomenologia fisica ben nota.

Là dove un sistema fisico dispone di un numero di alternative praticamente illimitato, alternative tutte fisicamente pressoché equivalenti e tali che tra esse nel particolare solo il caso può scegliere, nello spazio di indifferenza che così si apre, emerge nel tempo una sequenza di eventi particolari storicamente concatenati. Tale è il mondo della vita, e la biologia, la scienza che lo studia e descrive, ne risulta affrancata da ogni possibile dipendenza logica dalla teoria fisica e necessita quindi di una fondazione indipendente.

4. Teleologia e "complessità"

Come anticipato, vorrei tornare, alla luce di quanto abbiamo visto, sull'argomento teleologico, ben duro a morire, e utilizzato anche da Wigner a supporto di uno status particolare dei fenomeni della vita. L'argomento, abbandonando insostenibili posizioni creazioniste, invoca una "forza dell'evoluzione" o un "disegno intelligente" (evidentemente dettato da un'intelligenza superiore, cioè un disegno divino) che guiderebbe l'evoluzione in una ben determinata direzione: da organismi più semplici verso organismi più "complessi", per giungere -a coronamento del percorso evolutivo- ad un essere "dotato di coscienza", cioè l'uomo.

Agno perdeva facilmente le staffe (e chi lo ha conosciuto sa a che livello di decibel potevano esprimersi le sue arrabbiate) di fronte a posizioni di questo tipo. Vorrei qui mostrare come a partire dalle idee di Agno si possa formulare una visione chiarificatrice dell'apparente direzionalità dell'evoluzione.

Apro una parentesi per raccontare un episodio recente. Al termine di un incontro divulgativo (un caffè-scienza nell'ambito della Settimana della Scienza a Roma) uno degli intervenuti contestava la teoria dell'evoluzione perché aveva letto che l'uomo di Neanderthal si era estinto: perché non era diventato Homo sapiens, come doveva, spinto dalla forza dell'evoluzione? E perché le scimmie si sono accontentate di rimanere scimmie pur avendo avuto tutto il tempo di evolvere a Homo sapiens? Per lui questo significava che la teoria dell'evoluzione era sbagliata.

(Il guaio è che la parola ‘evoluzione’ si presta a ingenerare questo tipo di equivoci: infatti si è portati ad attribuire un significato positivo all’espressione ‘più evoluto’!)

Gli ho ribattuto che anche i batteri erano rimasti batteri, e -senza curarsi di quelli che in seguito ad eventi di simbiosi hanno dato origine alla cellula eucariotica- hanno continuato a perfezionare il loro macchinario biochimico, percorrendo un tempo evolutivo ben più lungo (se misurato in numero di generazioni) di quello percorso ad esempio dai mammiferi: Per questi ultimi il tempo intercorrente tra una generazione e la successiva può essere di mesi (per un topo) o di decine d’anni (25 anni per la nostra specie), mentre il tempo di riproduzione dei batteri è dell’ordine di 30 minuti. I batteri di oggi sono quindi, a rigor di termini, molto ‘più evoluti’ di noi, e per la verità sono organismi estremamente sofisticati e perfezionati, capaci di vivere negli ambienti più vari (sottosuolo, fondo marino, sorgenti termali) con un successo evolutivo senza pari. Nel loro insieme costituiscono più del 50% di tutta la materia vivente sul pianeta. Molto probabilmente continueranno ad abitarlo anche dopo che qualche catastrofe ecologica avrà spazzato via quell’accidentale ospite del nostro pianeta -tanto presuntuoso da ritenersi nientedimeno che il coronamento dell’evoluzione- e magari anche gran parte degli esseri pluricellulari

Ageno soleva dire che il sogno di un batterio non è quello di diventare un uomo, ma quello di diventare due batteri.

Ma tant’è: il pervicace antropocentrismo che riemerge dopo ogni sconfitta (sconfitte quali la rivoluzione copernicana, le prove indiscutibili della teoria dell’evoluzione) non riesce ad accettare l’idea che la specie umana poteva anche non comparire affatto. Come ci ricorda Stephen J. Gould, se l’evento che 65 milioni di anni fa ha provocato l’estinzione dei dinosauri avesse coinvolto anche i piccoli mammiferi allora già esistenti, non si sarebbe mai arrivati ai primati e l’evoluzione avrebbe potuto prendere altre vie (**nella totale indifferenza della biologia cellulare sottostante**, potremmo aggiungere con Ageno). Per molti questa accidentalità (il grande numero delle alternative possibili) è inaccettabile

Rimane da rispondere a chi osserva che in verità quelle che vengono indicate come le “grandi transizioni” (J.M. Maynard Smith & E. Szatamary. *The Major Transitions in Evolution*. W.H. Freeman Press, New York 1995), ovvero i passaggi da cellula procariotica a cellula eucariotica, da organismo unicellulare a organismo pluricellulare, da individuo isolato a società di individui dal comportamento concertato, sono effettivamente avvenute in tempi successivi (né evidentemente avrebbero potuto avvenire in un diverso ordine). Questo argomento viene portato dai sostenitori di una

direzionalità nell'evoluzione che guiderebbe il passaggio da forme più 'semplici' a forme più 'complesse'.

Ma è appena il caso di ricordare che tali transizioni non sono passi obbligati nell'evoluzione. Come abbiamo visto, i batteri ne hanno fatto a meno. Si possono peraltro citare casi che potrebbero essere visti come un passaggio inverso, dal 'complesso' al 'semplice': basti pensare ai virus, dotati spesso di bellissime forme poliedriche, che non sono stati certo "progenitori" di cellule, dato che per riprodursi devono parassitare queste ultime. Tra i parassiti si possono citare diversi altri casi di involuzione.

Sulla falsariga di Ageno, noi possiamo affermare che ciascuna delle grandi transizioni ha aperto nuovi campi di scelta, nuovi tipi di concertazione tramite opportuni segnali o interazioni, e possibilità di selezione cui il livello precedente è del tutto indifferente.

Sembra dunque di poter evitare qualsiasi teleologia e nello stesso tempo ogni ingenuo riduzionismo riconoscendo che -come direbbe Ageno- ogni transizione apre l'accesso ad un nuovo 'campo di indifferenza', cioè ad un campo di scelte il cui esito non è deducibile sulla base delle regole che governano i livelli precedenti, con un progressivo affrancamento dal rigido determinismo chimico-fisico e biologico implicito in interpretazioni riduzioniste.

Nell'interrogarsi sul significato della transizione da uni- a pluri-cellulare, o da individui isolati a comunità socialmente organizzate, spesso si parla di livelli gerarchici di 'complessità'. Esprimo la mia perplessità circa l'utilità del termine 'complessità' con una domanda: è più complessa la struttura di un formicaio o quella di una formica? La struttura di un quartetto d'archi o quella di un violino? e siamo sicuri che un batterio è più semplice di una cozza?

Pochi termini vengono tranquillamente abusati quanto il termine "complessità". Si tratta evidentemente di un concetto trasversale, spesso invocato nei più recenti sviluppi di numerose discipline (dalla fisica alla medicina, dalla biologia all'antropologia, dalla chimica alla sociologia, dalla psicologia all'economia).

Non entrerò nell'esposizione delle varie definizioni che sono state date di volta in volta per questo termine. Quello che mi preme qui sottolineare è il carattere di multidimensionalità che si nasconde sotto l'apparenza di un unico concetto. Cercherò di chiarire che è proprio tale carattere che rende problematico il tipo di confronti (formica/formicaio; violino/quartetto) esemplificati sopra.

Partiamo da una definizione semplificata, perfettamente sufficiente per i nostri scopi, di 'sistema complesso' come un insieme composto da più elementi tra loro interagenti. E' facile intuire che esso

potrà essere sede di nuove funzioni o proprietà ‘emergenti’, non riscontrabili a livello dei singoli elementi e non direttamente derivabili dalle proprietà di questi ultimi. Tali proprietà dipendono dall’insieme delle connessioni (azioni e retroazioni) tra elementi, cioè dall’organizzazione del sistema: è questa organizzazione che consente l’esplicarsi di funzioni che hanno senso -per dirla con Ageno- in uno spazio cui il livello sottostante (l’insieme degli elementi considerati come non interagenti) è indifferente. Pensiamo per esempio all’attività ottica, proprietà inesistente a livello di atomi singoli, che emerge a livello delle molecole quando queste possiedono un atomo di Carbonio asimmetrico.

Proviamo ora a definire la grandezza ‘complessità’.

In fisica siamo abituati, per ogni nuova grandezza che viene introdotta, a dare una definizione operativa e ad accordarci su di una unità di misura. Ma come si misura la complessità?

Siamo inoltre abituati a suddividere le grandezze che caratterizzano un sistema in grandezze ‘estensive’ (massa, volume...) o ‘intensive’ (temperatura, pressione, affinità chimica...). Ma la complessità è grandezza estensiva o intensiva?

Purtroppo, nonostante il grande uso del termine, non ci sono risposte condivise a queste semplici domande. Cerchiamo allora di costruirci almeno qualitativamente un modo di ordinare una serie di oggetti in ordine di complessità crescente. Aiutandoci con alcuni esempi vedremo che anche questo compito pone sostanziali ambiguità.

La funzione ‘produzione di suoni armoniosi’ può emergere, ad esempio, unendo tra loro in maniera opportuna assicelle di legno, corde e sistemi di fissaggio di queste, a creare strumenti musicali a corde vibranti. Forse il più antico di questi è la cetra. Se confrontiamo un violino con una cetra diremo intuitivamente che il violino è più complesso, perché mediante una serie di riflessioni e di risonanze consente l’emergere di un suono più ‘ricco’. In modo analogo, prendendo in considerazione il numero e la varietà degli elementi costruttivi necessari per ciascuno strumento, potremo accordarci su di una scala di complessità del tipo:

zufolo → flauto dolce → → clarinetto →

Ma questo tipo di scala ci serve a poco quando andiamo a considerare un ‘complesso’ strumentale in cui i suoni emessi da più strumenti vengono ‘accordati’ e ‘messi in fase’ con diversi tipi di regole e di segnali tra i componenti del complesso. Qui ci troviamo ad un livello gerarchicamente superiore a quello del singolo strumento: i sistemi che ora stiamo considerando sono composti da elementi del livello sottostante che interagiscono. La proprietà emergente è la polifonia, con i suoi vincoli o regole di contrappunto (regole che perdono di significato al livello sottostante). Anche qui potremo

creare una scala di complessità crescente con l'aumentare del numero e della varietà degli strumenti concertanti (il che ci porta a considerare questa grandezza come estensiva) del tipo:

duo → trio → quartetto → → orchestra

Eppure la stessa dizione “complesso strumentale” ci porta automaticamente a considerare questo livello come più elevato su una scala di complessità ortogonale a quella descritta più sopra: se la scala che va da zupfola a clarinetto la pensiamo come un asse orizzontale, i due livelli ora considerati (strumento singolo/complesso strumentale) sono invece distinti su una scala verticale. Allora dobbiamo metterci d'accordo: la complessità cresce in senso verticale, da un livello al successivo, o in senso orizzontale, tra elementi appartenenti a uno stesso livello gerarchico?

E insistendo su esempi musicali -questa volta vocali- se ci pare ovvio che una nenia ripetitiva sia più ‘semplice’ di un'aria come “Casta diva”, e che una fuga di Bach sia più complessa di un semplice canone come “Fra Martino campanaro”, dovremo anche dire che “Fra Martino” è più complesso di “Casta diva” perché appartiene ad un livello (polifonico) gerarchicamente superiore a quello di singole linee melodiche? Evidentemente stiamo facendo l'errore di confrontare valutazioni fatte su scale eterogenee solo perché abbiamo chiamato entrambe con lo stesso nome.

Personalmente continuo a ritenere fuorviante parlare di ‘livelli di complessità’, e trovo preferibile la nozione ‘ageniana’ di aree di indifferenza.

Vorrei concludere con una domanda provocatoria: a cosa ci serve in biologia una grandezza mal definita (o dalle molteplici e contraddittorie definizioni) come la complessità? non sarebbe meglio bandire completamente il termine ‘complessità’ dalla biologia?