

LA PRIORITA' TRA STRUTTURA E FUNZIONE IN BIOLOGIA*

Pietro Ramellini
Via Appia Sud, 130
00049 Velletri (Roma)
e-mail ramellini.pietro@inwind.it

Introduzione

Apriamo il *De rerum natura* e leggiamo cosa Lucrezio pensasse del rapporto tra strutture e funzioni:

*“Nessun organo del corpo si è formato affinché potessimo usarlo,
ma proprio ciò che si è formato dà origine all’uso.
... tutte le membra esistettero prima - credo - che ne fosse praticato l’impiego.
Dunque non poterono formarsi ai fini del loro uso.”*
(IV, 834 sgg.).

E ancora:

*“Il vitello, prima che gli spuntino le corna sulla fronte,
s’avventa con ira e incalza minaccioso come le avesse.
I cuccioli delle pantere e i leoni non ancora adulti
già si rivoltano a unghiate, a colpi di zampa, a morsi,
quando in essi denti e artigli sono appena formati.
Vediamo tutte le specie degli uccelli fidare nel volo,
quando chiedono ancora un tremulo aiuto alle penne.”*
(V, 1034 sgg.).

Cosa pensare di tutto ciò? E’ evidente che siamo in presenza di una contraddizione nel pensiero di Lucrezio. La prima citazione infatti pone una priorità nella struttura: è l’organo che, con la sua conformazione,

* Il presente lavoro è dedicato alla memoria di Martino Rizzotti, con il quale discussi gli argomenti qui trattati.

addirittura genera (*procreat*) l'uso; l'orecchio vien prima del processo uditivo. Il secondo brano però ribalta il ragionamento: in certi casi, la struttura non si è ancora formata, che già l'animale esercita la funzione corrispondente; pur se mancano le corna, i capretti cozzano tra loro.

Con questa doppia citazione, il problema che intendo esaminare è posto: cosa è prioritaria, la struttura o la funzione? Come vedremo, a questa domanda vengono fornite le seguenti risposte:

- è prioritaria la struttura;
- è prioritaria la funzione;
- è prioritaria un'entità biologica diversa sia dalla struttura che dalla funzione;
- non si dà alcuna priorità tra struttura e funzione;
- la domanda è malposta.

La priorità della struttura

L'ascendenza più antica che ho trovato per questa concezione risale ad Anassagora, laddove affermava che l'uomo è il più intelligente tra tutti gli animali perché ha le mani, e non viceversa; come dire che la presenza di una certa struttura conferisce al suo portatore facoltà, possibilità d'uso, funzioni conseguenti. Anassagora si muoveva però in un orizzonte concettuale per noi troppo vasto e vago; la sua affermazione mirava non tanto a stabilire una priorità biologica, quanto a impiantare una teoria della conoscenza in cui fosse egemonico il momento tecnico, operativo, pragmatico (Geymonat 1975, I: 84).

Per trovare una chiara formulazione biologica della priorità strutturale, dobbiamo perciò saltare la lunga stagione della scienza aristotelica, arrivando al nettissimo pronunciamento di Isidore Geoffroy Saint-Hilaire: è necessario “sostituire a questa antica massima, *tale è la funzione, tale è l'organo*, quest'altra proposizione, *tale è l'organo, tale è la funzione*: espressione generale ed evidente di tutto ciò che in fisiologia viene definito come funzione e nelle scienze naturali come comportamento e abitudine” (in Mazzocut-Mis 1994: 234). Tra gli esempi a sostegno della sua tesi, tratti ovviamente dalla teratologia, ricordiamo il cosiddetto mostro doppio, in cui il corpo si presenta come duplicato: “chi oserebbe sostenere che le sue anomalie fisiologiche sono le cause finali delle sue anomalie anatomiche e non che le sue anomalie anatomiche, risultati di

un'associazione accidentale tra due embrioni, sono le cause determinanti delle sue anomalie fisiologiche?" (*ibidem*).

Dopo Geoffroy, ciò che cambia è solo il livello di organizzazione considerato; attualmente, la questione viene agitata sul fronte molecolare: se la biochimica fisiologica privilegiava le funzioni (intese come reazioni metaboliche), la biologia molecolare assegna invece la priorità alle strutture. Ascoltiamo le parole di Kornberg: "Tradizionalmente il biochimico insegue una funzione (come la fermentazione dello zucchero in alcol, la fotosintesi, la visione, la replicazione del Dna). Nelle sue ricerche è costretto ad aprire la cellula e concepire saggi per purificare le molecole che riproducono la funzione cellulare ... Per contro, il biologo molecolare comunemente insegue una struttura (il Dna o una proteina disponibile) per scoprirne le funzioni. Egli modifica la struttura, la introduce in una cellula intatta e dalle risposte cellulari cerca di inferire le funzioni della struttura" (in Corbellini 1999: 8). Tale punto di vista raggiunge un nuovo apice con Monod, il quale sostiene che le stesse "proprietà essenziali degli esseri viventi potevano essere interpretate nei termini delle strutture delle loro macromolecole" (in Fantini 1989: 181); anche nel campo delle riviste scientifiche, le *guidelines* sono illuminanti: scopo del *Journal of Molecular Biology*, ad esempio, è studiare "la natura, la produzione e la riproduzione delle strutture biologiche considerate su scala molecolare e la relazione di queste strutture con le funzioni dell'organismo" (*ibidem*).

Per concludere, ecco un caso riportato recentemente da Danchin: in alcuni epitelii, la faccia mucosa non porta pompe Na-K, a differenza di quella sierosa; ne risulta una asimmetria strutturale sufficiente a spiegare il processo di trasporto di sodio attraverso l'epitelio; è cioè "probabile che sia l'architettura iniziale ad imporsi come supporto (causa) della diversità dei fenomeni, e non, come alcuni pretendono, che fenomeni complessi, consumatori di energia, facciano emergere strutture a partire da un sistema omogeneo lontano dall'equilibrio. Il sistema vivente non è *mai* simmetrico nelle condizioni iniziali" (1980: 260-261). Lo studio del riassorbimento renale introduce una "rottura della simmetria delle relazioni, lasciando aperta la possibilità di una relazione causale" (*ivi*: 269); in altri termini, la relazione tra architettura e processo è tanto sbilanciata a favore della prima, da suggerisce che la funzione sia un effetto della struttura. Sullo sfondo, in trasparenza, si legge la polemica di Danchin contro la scuola di Bruxelles (Prigogine, Glansdorff), secondo la quale sono i processi dissipativi a causare la comparsa di strutture visibili.

La priorità della funzione

Sembra che il primo autorevole esponente di questa concezione sia stato Aristotele. Sua è, innanzitutto, la polemica antianassagorea: parlando dell'uomo, è più "ragionevole dire che ha ottenuto le mani perché è il più intelligente. Le mani sono infatti uno strumento, e la natura, come farebbe una persona intelligente, attribuisce sempre ciascuno di essi a chi può servirsene" (*De part. anim.*, IV, 687a). Ma tutta l'opera è pervasa dalla priorità della funzione: poiché "ognuna delle parti del corpo è in vista di un fine, il fine poi è una certa funzione, è manifesto che il corpo nel suo insieme è costituito in vista di una funzione complessa. In effetti non è il segare ad essere in funzione della sega, ma la sega in funzione del segare ... Il corpo è in qualche modo finalizzato all'anima, e ognuna delle sue parti alla funzione alla quale è destinata per natura" (*ivi*: I, 645b). La struttura è dunque *organon*, cioè strumento, termine non casualmente derivante da *ergon*, cioè funzione. Studiando quindi le parti del corpo, è possibile comprenderle "soltanto a partire dalla loro funzione" (*ivi*: II, 655b). La stessa concezione si ha in Galeno, secondo il quale la forma è solo un contenitore o sostegno di funzioni (Toni 1999: 306).

In epoca moderna, saltando Descartes, in cui l'anatomia, ancella della fisiologia, risulta almeno in parte immaginaria, è Cuvier il grande sostenitore della funzione, tanto da entrare presto in rotta di collisione con Geoffroy. Scrive Foucault: nella "opposizione fra gli organi in genere, che sono spaziali, solidi, direttamente o indirettamente visibili, e le funzioni, le quali non si danno alla percezione ma prescrivono, come dal disotto, la disposizione di ciò che viene percepito", Cuvier "fa ridondare, e di molto, la funzione rispetto all'organo, e assoggetta la disposizione dell'organo alla sovranità della funzione" (1966, trad. it.: 286, 291).

Attraverso Cuvier, ma anche - per vie spesso oscure - Cabanis, Reimarus, Schopenhauer, Lamarck, la priorità della funzione passa a Darwin, sfociando nell'adattamentismo della Nuova Sintesi (Volpicelli 1988: 31; Goodwin e Webster 1988: 67; Gagliasso 1996: 65).

Nel '900, peraltro, l'egemonia della funzione viene sostenuta con modalità tanto oscillanti da sfiorare la contraddizione. Così, Piaget può sostenere, nello stesso testo, che nello sviluppo le interazioni strutturali precedono quelle funzionali (1967, trad. it.: 29) e che non esiste funzione senza struttura (*ivi*: 156); che, d'accordo con von Bertalanffy, dobbiamo "cercare l'ordine primario dei processi organici non nelle strutture

prestabilite, ma in questi stessi processi”, e che le forme sono supporto e non fonte dei processi funzionali (*ivi*: 159); infine che strutture e funzioni sono sotto il dominio di una terza entità, l'autoregolazione (*ivi*: 127).

Data una simile varietà di affermazioni, non appare paradossale l'affermazione di García-Bellido, per cui lo strutturalismo vede il significato della struttura nella sua funzione o nel suo contesto, invece che nei suoi componenti; ad esempio, poiché la funzione precede e condiziona l'evoluzione morfologica, “è il movimento a spiegare la comparsa di flagelli o appendici” (1984: 316).

Un altro caso emerge dal confronto tra Ageno e, di nuovo, Prigogine. Il biofisico italiano, infatti, mentre critica la teoria delle strutture dissipative, sulla priorità tra struttura e funzione raggiunge una posizione simile: la cellula batterica sarebbe una regione di spazio in cui alcuni processi ordinati elaborano materiali, parte dei quali “viene impiegata nel realizzare strutture selezionate, atte a incanalare i processi stessi nello spazio e nel tempo ... Va subito notato come già qui si sia operato un capovolgimento, rispetto alla tradizionale impostazione biologica: l'attenzione viene subito centrata sui processi, riconosciuti come fondamentali, anziché sulle strutture che, anche se più appariscenti, vengono riconosciute quali prodotti dei primi” (1992: 146).

La priorità di una terza entità

Uno dei modi più comuni di risolvere una controversia è quella di appellarsi ad una istanza superiore ai contendenti. Nel caso nostro, non si tratta semplicemente di registrare che strutture e funzioni sono ambedue aspetti del vivente, bensì di ricorrere ad un'entità gerarchicamente superiore, che li precede e condiziona.

A ben vedere, tale soluzione si ritrova già in Aristotele; parlando delle lunghe zampe di molti uccelli acquatici, egli ne individua la causa nell'abitudine a vivere in palude, e scrive: “la natura adatta (*poiei*) infatti gli organi alla funzione, non la funzione agli organi” (*De part. anim.*, IV, 694b); la natura dunque è titolare di una priorità superiore a quella della funzione sulla struttura. Approfondendo l'analisi, Aristotele riconduce strutture e funzioni alla priorità della *ousia*, che è poi anche *telos* e *logos*: “l'unica cosa che conti per la scienza aristotelica, dunque, è comprendere la *ousia*, non già affermare la prevalenza nella natura del finalismo o del

meccanicismo” (Vegetti 1971: 530); ma poiché la “*ousia* vivente, è in quanto tale attività, funzione, *praxis*” (*ivi*: 506), siamo ben presto ricondotti alla già ricordata priorità della funzione.

Jacob ha ricapitolato tutta la storia della biologia proprio nel segno di un principio sempre più profondo che spiegasse l’assetto visibile del vivente, ritrovandolo via via nell’organizzazione, nei geni e infine nella molecola d’acido nucleico: è dunque il messaggio polimerico che, secondo la biologia contemporanea, “determina la forma di un essere vivente, le sue proprietà, il suo funzionamento” (1970, trad. it.: 293). E’ questo un richiamo all’indirizzo informazionista della biologia molecolare, da affiancare a quello conformazionista o strutturista, precedentemente esaminato; l’informazione sarebbe la vera protagonista della biologia, ben oltre il rapporto tra strutture e funzioni.

Anche l’ambiente è stato invocato; di recente, Edelman ha sostenuto che l’assetto relazionale tra vivente e ambiente condiziona strutture e funzioni; come osserva Toni (1999: 319) “è l’*assetto relazionale* che stabilisce di volta in volta una certa gerarchia e identità di ciascuna parte di esso (l’eterarchia di Edelman) e non le varie funzioni fisiologiche che vengono esplicate”.

La parità tra struttura e funzione

Secondo questo punto di vista, struttura e funzione vengono poste sullo stesso piano, coordinate e non variamente subordinate; tra di esse sussiste allora una relazione biunivoca o circolare, di reciproca causazione o condizionalità.

Jacob (1970, trad. it.: 292) afferma che a metà ‘900 “organizzazione e interazione degli elementi costitutivi diventano cose inseparabili: l’una è condizione di esistenza dell’altra, causa ed effetto al tempo stesso dell’altra. Vi è interazione se, e solo se, gli elementi costitutivi reagiscono l’uno sull’altro; ma non può esservi influenza reciproca fra le diverse componenti di un sistema, se non nella misura in cui il sistema è un tutto integrato. Se possono stabilirsi degli scambi fra gli elementi costitutivi di un insieme organizzato, è perché la struttura di questo lo consente; ma, a sua volta, l’organizzazione di questi elementi contiene, in potenza, la serie temporale delle loro ricombinazioni e, quindi, delle proprie trasformazioni. In ultima analisi, il coordinamento delle attività determina sia l’evoluzione

di un sistema integrato, sia le proprietà del medesimo. La logica interna di un sistema nasce dalla dialettica fra strutture e funzioni”.

Anche Miller (1978: 70, 73) parla di una relazione circolare, per cui “la struttura cambia in rapporto attuale con il funzionamento, ma quando un cambiamento è così grande da essere sostanzialmente irreversibile, si è verificato un processo storico che dà origine a una nuova struttura”; e cita von Bertalanffy, secondo cui la struttura è espressione di un ordine funzionale permanente, mentre la funzione è sostenuta da strutture e forme. Riprenderò più avanti questa concezione.

La priorità di un chiarimento terminologico e concettuale

Struttura e funzione sono termini troppo carichi di stratificazioni concettuali perché si possa affrontare, *ex abrupto*, la questione di una priorità dell’una sull’altra; per di più, lo stesso concetto di priorità va chiarito meglio. Cercherò quindi di definire i termini, riprendendo poi la questione iniziale. I significati più frequenti di *struttura* in biologia sono:

- a) la forma, intesa come disposizione istantanea del confine di un’entità biologica;
- b) la composizione in parti e la loro disposizione spaziale (forma, ordine delle parti, posizione spaziale di ogni parte rispetto alle altre), in un certo istante; ad esempio, si parla di struttura di un protide a significare la composizione qualitativa e quantitativa in aminoacidi e la loro disposizione spaziale (forma complessiva del protide, ordine sequenziale degli aminoacidi, ripiegamento spaziale delle catene secondo il *folding*);
- c) l’entità biologica stessa, in quanto dotata di struttura secondo i due primi significati; ad esempio, un protide è una struttura, in quanto entità dotata di una certa forma, composizione in parti, disposizione di parti;
- d) una totalità biologica, cioè un’entità biologica in cui ogni parte/elemento condiziona ed è condizionata dal tutto/insieme; ad esempio, lo scheletro è composto di ossa la cui mineralizzazione e trabecolazione influisce ed è influenzata da quella delle altre ossa;
- e) un’entità biologica non osservabile in sé ma comunque intelligibile, nel senso che è inferibile dai suoi effetti osservabili; ad esempio, il campo morfogenetico non è visibile, ma viene inferito dall’osservazione dei processi morfogenetici.

Quanto a *funzione* abbiamo:

- f) un processo biologico, intendendo per processo un cambiamento, una sequenza temporale di stati differenti e di transizioni da uno stato all'altro;
- g) un processo biologico che avviene entro il contesto dell'entità vivente e *in funzione* del contesto, cioè in vista del contesto, al fine del mantenimento del contesto³. Non tutti i processi sono dunque funzionali, né tutte le funzioni sono processuali. Ad esempio, il cambiamento della forma del cuore durante la sistole atriale è un processo; se tale cambiamento è associato alla spinta del sangue nei vasi sanguigni del corpo, è anche una funzione; quindi, la contrazione del miocardio è un processo, il pompaggio del sangue è una funzione, e un cuore espantato da cadavere si contrae senza svolgere alcuna funzione. D'altro canto, un dente svolge la sua funzione di masticazione indipendentemente dal fatto che in esso avvengano processi di ricambio o cambiamenti di forma (anche se, di fatto, questi si verificano e, alla lunga, sono necessari per la piena funzionalità del dente stesso); tanto che si può sostituire il dente con un suo simulacro d'oro.

Quanto al concetto di *priorità*, date le entità A e B, ne abbiamo vari tipi:

- h) cronologica: A è prioritaria se precede nel tempo B;
- i) causale: A è prioritaria se è causa efficiente di B, senza esserne causata efficientemente;
- l) condizionale: A è prioritaria se condiziona il modo di essere di B, e non viceversa. Cioè, B potrebbe essere in vari modi, e A limita il numero di tali possibilità, e non viceversa; oppure, in senso positivo, A rende possibile, favorisce, parte dei possibili modi d'essere di B, e non viceversa. Il concetto di condizione ha sostituito in buona parte quello di causa efficiente, anche se molti biologi continuano a parlare di causa;
- m) cognitiva: A è prioritaria se condiziona la conoscenza che C ha di B, senza che la sua conoscenza sia condizionata da B. Anche qui abbiamo un condizionare, ma non di A su B, bensì di A su C.

³ O almeno come se avvenisse al fine del mantenimento del contesto. La funzione, come si vede, è densa di connotazioni teleologiche, che la biologia contemporanea tende a recuperare sotto il segno della teleonomia; è singolare, peraltro, come la maggior parte dei biologi non si renda conto di tali implicazioni finalistiche.

Discussione

Messa a punto la terminologia, possiamo tornare al quesito iniziale. Ora, però, la questione si è moltiplicata, in quanto dovremmo trattare, per ogni tipo di priorità, ogni permutazione di significati di struttura e funzione; ad esempio, dovremmo chiederci se c'è priorità cronologica tra forma e funzione (finalizzata), o se c'è priorità cognitiva tra struttura (non osservabile) e processo, e così via. Tutto ciò va fatto, senza alcun dubbio, e non farlo genera molte delle incomprensioni che si palpano scandagliando la storia del problema.

In questa sede mi limiterò ad esaminare la priorità (di tipo l) tra struttura (nel significato b) e funzione (nel significato f), perché *questo* è lo snodo cui più spesso pensano i biologi contemporanei.

Consideriamo un certo cuore (umano, adulto, «sano», *in situ* nel corpo vivo ecc.), scegliendo come istante di partenza quello in cui inizia la sistole atriale (cioè la fine della perisistole). In questo istante, il cuore si presenta come una lamina carnosa composta da alcune sottolamine, che delimitano alcune cavità (piene di sangue) e sono continue con le pareti di alcuni tubi (vene e arterie). Conveniamo che sangue, tubi e cavità non facciano parte del cuore⁴. Le sottolamine del cuore sono disposte in un certo modo: ad esempio, alcune fanno da parete esterna, una divide in due lo spazio interno (setto), altre suddividono parzialmente le cavità destra e sinistra (valvole atrio-ventricolari). A partire dallo stesso istante, inizia il ciclo cardiaco, un processo che avviene in un modo particolare: inizia in una certa zona, si propaga con una certa velocità ecc.

Dobbiamo controllare se la composizione-disposizione A condiziona il modo di essere (in questo caso, il modo di accadere) del ciclo cardiaco B, e viceversa. Cioè, posto che B possa essere in vari modi, ci chiediamo se A limita il numero di tali possibilità, e viceversa; oppure, in senso positivo, se A rende possibile, favorisce, certi possibili modi d'essere di B, e viceversa.

Ora, è evidente che, ad esempio, la disposizione delle parti del cuore

⁴ Questa convenzione, per quanto necessaria, è ovviamente assai problematica; senza scomodare Lao Tzu, con le sue considerazioni sul vuoto e sul pieno (chi fa la tazza, la lamina di ceramica o la cavità che ne è delimitata?), basterebbe chiedersi se i tubi (arterie) coronarici fanno o meno parte della lamina carnosa del cuore.

limita le possibilità di accadere della contrazione; se il cuore fosse cubico, le linee lungo cui avverrebbe lo scorrimento dei protidi contrattili sarebbero diverse; possiamo addirittura immaginare che certe disposizioni impedirebbero del tutto la contrazione, anche se dubito che un corpo siffatto (ad esempio, a forma di riccio di castagna) verrebbe chiamato cuore. Dunque A condiziona B.

E che dire della relazione opposta? Il modo di accadere di B condiziona il modo d'essere di A? Certo; man mano che procede la sistole atriale, la disposizione delle parti cambia: il cuore si contrae, le superfici interne si modificano, lo spessore delle sottolamine cambia; contemporaneamente, a livello microscopico cambia anche la composizione: ioni vari attraversano i canali di membrana, sostanze energetiche vengono catabolizzate, molecole di ATP vengono idrolizzate, e così via. E se B accadesse in modo diverso (ad esempio, in caso di extrasistole, o, peggio, di fibrillazione), ne seguirebbero modi d'essere strutturali diversi. Se infine si considera non un singolo ciclo cardiaco, ma il susseguirsi di migliaia di cicli nel corso degli anni, il condizionamento della funzione sulla struttura è ancora più palpabile: l'uso o il disuso di un organo lo cambiano. Dunque B condiziona A.

A questo punto, traiamo la nostra conclusione, affermando che non sussiste alcuna priorità condizionale tra struttura (b) e funzione (f). Ritroviamo così la concezione che pone i due concetti su di un piano di parità, con la speranza di averla non semplicemente enunciata, ma in un caso e in qualche modo dimostrata⁵.

⁵ A questo punto, possiamo rivedere alcune posizioni riportate più sopra. Riguardo a Danchin (1980), intanto non esiste qualcosa come una architettura iniziale: fin dall'origine della vita, di generazione in generazione vengono ereditate sia le architetture (strutture) sia i fenomeni (processi), e anche le prime entità viventi sono apparse a partire da strutture e processi preesistenti; inoltre, è anche possibile che i processi di trasporto ionico condizionino le strutture di membrana, ponendo quella reciprocità causale che Danchin nega. Riguardo ad Ageno (1992), non solo si ipostatizzano i processi (cosa vuol dire che un processo elabora materiali? Semmai, è la cellula a farlo), ma soprattutto si immagina che tali processi avvengano a prescindere dalla presenza di una cellula strutturata, in una non meglio precisata regione di spazio: avremmo cioè una regione in cui, non si sa bene come, si instaurano processi che (in un tempo successivo, cioè ponendo una priorità cronologica h?), realizzano strutture (nel significato c).

Conclusioni

Nel merito, il fallimento del tentativo di stabilire una priorità tra struttura e funzione è imputabile alla stessa natura della conoscenza scientifica: solo mentalmente, infatti, gli osservabili e gli sperimentabili si possono dissociare nel loro permanere e cambiare, stare e procedere, essere e divenire⁶.

Metodologicamente, peraltro, la questione meritava di essere affrontata, in quanto esemplare di una situazione che si ripresenta spesso: una curiosa congerie di termini polisemici, concetti fumosi, esempi inadeguati, produce uno stallo teorico che in biologia, lungi dall'essere un carattere positivo (come alcuni sostengono, parlando di longevità delle sue questioni), è segno e strumento di debolezza epistemica. Il fatto è che, spogliate di quella più ricca significazione di cui le si caricava, questioni come quella esaminata perdono gran parte del loro ambiguo fascino, svelando tutta la loro banalità. Ma attenzione: solo l'ordinario e il prosaico possono essere affrontati e discussi, passando dall'esoterico all'essoterico, dal mito alla scienza.

A noi dunque la scelta di principio: o scontrarci polemicamente su questioni che la vaghezza promuove surrettiziamente all'eternità, o incontrarci serenamente a partire da un terreno comune di chiarificazioni: relative, provvisorie, superabili, ma pur sempre condivise e capaci di circolazione culturale.

BIBLIOGRAFIA

- Ageno, M. 1992 (II ed.). *Dal non vivente al vivente*. Nuove ipotesi sull'origine della vita. Palermo, Theoria (I ed. 1991).
- Aristotele [1973]. *Opere*, vol. V: Parti degli animali, Riproduzione degli animali (trad. di D. Lanza e M. Vegetti). Roma-Bari, Laterza.
- Corbellini, G. 1999. *Le grammatiche del vivente*. Roma-Bari, Laterza.
- Danchin, A. 1980. Osmosi, 253-277. In: Romano, R. (ed.), *Enciclopedia*, vol. 10. Torino, Einaudi.

⁶ Sull'impossibilità di una effettiva pratica statmocinetica, in grado di «fermare il tempo» in biologia, v. Ramellini 1999.

- Fantini, B. 1989. Tra clinica e laboratorio. Il concetto di malattia molecolare. *BioLogica*, 2-3: 165-186.
- Foucault, M. 1966. *Les mots et les choses*. Paris, Gallimard (trad. it. Le parole e le cose. Milano, Rizzoli, VI ed. 1994).
- Gagliasso, E. 1996. Tra adattamento e struttura, 15-91. In: Continenza, B., e E. Gagliasso. *Giochi Aperti in Biologia*. Milano, FrancoAngeli.
- Garcia-Bellido, A. 1984. Analisi del differenziamento, 297-317. In: *Enciclopedia del Novecento*, vol. 7.
- Geymonat, L. (ed.). 1975 (II ed.). *Storia del Pensiero Filosofico e Scientifico*. Milano, Garzanti, I ed. 1971.
- Goodwin, B. C., e G. C. Webster. 1988. *Il problema della forma in biologia*. Roma, Armando.
- Jacob, F. 1970. *La logique du vivant*. Paris, Gallimard (trad. it. *La logica del vivente*. Torino, Einaudi, 1971).
- Lucrezio [1998, VII ed.]. *La natura delle cose*. Milano, Rizzoli, I ed. 1994.
- Mazzocut-Mis, M. (ed.). 1994. *Anatomia del mostro*. Firenze, La Nuova Italia.
- Miller, J. G. 1978 (II ed.). *La teoria generale dei sistemi viventi*. Milano, Angeli.
- Piaget, J. 1967. *Biologie et connaissance*. Paris, Gallimard (trad. it. *Biologia e conoscenza*. Torino, Einaudi, 1983).
- Ramellini, P. 1999. La questione del tempo in biologia. *Civiltà dei Licei*, 6(9): 32-38.
- Toni, R. 1999. Epistemologia della forma corporea. *Systema Naturae*, 2: 299-333.
- Vegetti, M. 1971. I fondamenti teorici della biologia aristotelica nel *De partibus animalium*, 489-553. In: Lanza, D., e M. Vegetti (eds.). 1971. *Opere biologiche di Aristotele*. Torino, UTET.
- Volpicelli, I. 1988. *Arthur Schopenhauer, la natura vivente e le sue forme*. Settimo Milanese, Marzorati.