

## **DAI LIVELLI DI ORGANIZZAZIONE AI LIVELLI BIOLOGICI**

Pietro Ramellini

*Via Appia Sud, 130/2*

*00049 Velletri (Roma)*

*e-mail ramellini.pietro@inwind.it*

### **Introduzione**

Aprite un qualsiasi manuale paradigmatico di biologia. Prima o poi vi imbanterete nel concetto di livello di organizzazione.

Chiedete ad un qualsiasi biologo di elencare i livelli di organizzazione, ed egli vi scodellerà, con un automatismo quasi pavloviano, un bell'elenco di entità biologiche, ordinato su più livelli<sup>1</sup>, simile a questo: macromolecola-organulo-cellula-tessuto-organo-apparato-individuo-popolazione-ecosistema-bioma-biosfera.

Ebbene, diffidatene. Bisogna sempre diffidare sia dei paradigmi sia degli automatismi. In questo caso, perché?

- perché non vi è un criterio univoco di scelta delle entità biologiche;
- perché vi si nascondono ambiguità semantiche;
- perché mancano livelli importanti e ve ne sono di irrilevanti;
- perché vi sono incluse entità biologiche non generali;
- perché l'ordinamento dei livelli non segue alcun criterio omogeneo e coerente;
- perché l'ambiguità tenta la ragion pigra;
- perché si confonde l'essere organizzati con il divenire organizzati.

## Esame critico dei livelli di organizzazione

Esaminiamo analiticamente questi punti.

### *1 - La scelta delle entità biologiche*

Non essendovi criteri espliciti di inclusione/esclusione di entità biologiche nell'elenco, non è sorprendente trovare le entità più disparate in Autori diversi; ecco alcuni esempi:

- Lehninger (1975, trad. it.: 18-19) riporta una gerarchia parziale, relativa all'organizzazione molecolare delle cellule: precursore dall'ambiente, intermedio metabolico, unità costitutiva (monomero), macromolecola, struttura sopramolecolare, organello;

- Miller (1978, trad. it.: 77) parte dalla cellula come livello infimo dei sistemi viventi, proseguendo con tessuto, organo, organismo, gruppo (dalla mandria alla tribù), organizzazione, società e sistema sovranazionale;

- Danchin (1981: 1162) riporta la "gerarchia: DNA cromosoma (o cromoide nelle cellule più semplici) nucleo cellula organo organismo"; l'uso della freccia suggerisce una derivazione di ogni entità dalla precedente, su cui ritornerò più avanti;

- Odum (1983, trad. it.: 3-4) parla di uno spettro biologico di livelli biotici: biosfera o ecosfera, bioma, comunità, popolazione, organismo, organo, cellula, gene;

- Agno (1986: 92-93) riconosce tre soli livelli, cellulare, organismico e sociale;

- in Wilson (1992, trad. it.: 173) troviamo gene, organismo, specie, corporazione, biocenosi, ecosistema;

- Eldredge (cit. in Bocchi e Ceruti 1993: 208) propone una gerarchia genealogica (coppia di basi nucleotidiche, codone, gene, cromosoma, organismo, deme, specie, unità tassonomica monofiletica) e una economica (proteina, cellula, tessuto, organo, sistema di organi, organismo, avatar, ecosistema, biosfera).

L'eterogeneità di questi elenchi è fin troppo evidente: essendo i criteri di passaggio da un livello all'altro fortemente incongruenti, la riflessione sui livelli di organizzazione risulterà più generica che generale.

Un altro fatto rilevante è che compaiono entità non biologiche. A rigore, 'ecosistema' non è un termine della biologia, in quanto indica sia le entità viventi che quelle non viventi di un certo spazio-tempo, cioè una geobiocenosi<sup>2</sup>; il termine corretto è biocenosi. Si può discutere sullo

statuto disciplinare anche per le macromolecole, visto che esistono molte macromolecole non biologiche, sia minerali (un diamante) sia industriali (un singolo polimero di PVC).

## 2 - La definizione delle entità biologiche

Molte delle entità elencate costituiscono la base di sottodiscipline biologiche; in un certo senso, le entità biologiche evocano la propria disciplina quanto le discipline forgiano il loro oggetto di sapere specifico. Fa dunque pensare che la definizione di termini come 'tessuto' lasci tanto a desiderare: nei loro manuali, gli istologi o non forniscono definizioni di 'tessuto', oppure ne danno di frettolose e acritiche, quasi per togliersi il problema di torno; in genere, cioè, gli studiosi di una disciplina non si occupano dei suoi fondamenti concettuali, lasciando a studiosi della «sovradisciplina» (nel caso, la biologia generale) le definizioni di base; d'altro canto, i biologi generali non hanno quella competenza specialistica che servirebbe per articolare correttamente quei significati. Così, le nozioni di raccordo tra discipline generali e discipline speciali languono in una sorta di limbo semantico, da cui è arduo trarle fuori; una situazione tanto sconcertante da far sorgere il dubbio che sia bene così, o che non si possa fare altrimenti.

Ecco alcuni esempi di termini semanticamente ambigui:

- individuo: dei tre principali significati etimologici del termine (indiviso, indivisibile, individuato), nessuno presenta un particolare interesse per la biologia; converrebbe eliminarlo dalla biologia, o almeno sganciarne il significato dall'etimologia<sup>3</sup>. Tra i possibili sostituti vi sono 'entità vivente' e 'corpo vivente', mentre non sarebbe accettabile 'organismo'; questo termine, infatti, si adatta etimologicamente a qualsiasi livello di organizzazione, tanto che la radice 'organ-' compare più volte negli elenchi: organulo, organo, organismo, organizzazione (sociale);
- tessuto: non è corretto definirlo sistema di cellule simili per struttura e funzione; poche cellule sono così diverse come quelle che troviamo nel sangue umano o nello xilema delle querce<sup>4</sup>; non molto più convincente è l'argomento della derivazione embriologica, se è vero ad esempio che il tessuto epiteliale dei mammiferi deriva da tutti e tre i foglietti embrionali (dall'ectoderma l'epitelio cutaneo, dal mesoderma quello renale, dall'endoderma quello del tubo digerente);
- cellula: è il termine più fuorviante, visto che le cellule procarioti si trovano su un livello diverso dalle eucarioti (cfr. Ageno 1986: 228); non stupisce

pertanto che la definizione di questo termine strutturale sia fondata su criteri processuali, o si limiti a inserirla nell'elenco in qualità di unità di base delle entità viventi.

### 3 - *Il numero di livelli*

In assenza di un criterio di scelta del numero di livelli, se ne possono elencare quanti si vogliono, la sottigliezza delle distinzioni non conoscendo limiti. Occamisticamente, converrebbe moltiplicare le entità solo per necessità; di solito, è il naturale divenire della ricerca ad aprire nuovi spazi concettuali, al punto che alcuni Autori istituiscono una corrispondenza tra livelli di organizzazione e stadi della storia della biologia (Jacob 1970).

Attualmente si intravede l'emergere di un livello che, proprio perché ancora provvisoriamente determinato, manca di un nome proprio: è il livello sopramolecolare, da situare tra il macromolecolare e l'organulare; nei complessi sopramolecolari (ribosomi, complessi enzimatici, sistemi citoscheletrici, biomembrane, al limite la stessa doppia elica del DNA) troviamo macromolecole legate non covalentemente; tuttavia, pur essendo i legami deboli (legami idrogeno, di van der Waals, pseudolegami idrofobici), il complesso risulta definito geometricamente, stabile fisicamente, specifico per composizione (Lehninger 1975, trad. it.: 19). La proposta di questo livello, qualora venisse accolta, avrebbe il merito di precisare meglio il significato di organulo: questo termine verrebbe infatti riservato ai complessi sopramolecolari racchiusi da membrane endocellulari, a dare compartimenti topologicamente chiusi (mitocondri, cloroplasti, lisosomi ecc.).

In analogia al livello sopramolecolare, che si trova appena al di sotto degli organ(ul)i della cellula, sarebbe comodo individuare un livello appena sotto gli organi di un pluricellulare, che potremmo denominare sopratissutale; facciamo un esempio: se conveniamo sulla presenza di un apparato sensoriale nell'uomo, allora l'orecchio è un suo organo; di conseguenza, il cosiddetto «organo» del Corti si trova ad un livello inferiore; esso non è però un tessuto, in quanto vi si ritrovano tessuto connettivo lasso, tessuto epiteliale di rivestimento (limbo spirale), tessuto epiteliale sensoriale (cellule acustiche) e cellule di sostegno, oltre a porzioni amorfe (membrana tettoria); per un'entità così differenziata, come per lo xilema già ricordato, sembra appropriato parlare di livello sopratissutale.

D'altro canto, sarà da vedere quale successo incontrerà la proposta di altri livelli: così, Wilson riporta, tra la specie e la biocenosi, il livello della

corporazione, intesa come “un gruppo di specie che vivono nello stesso luogo e che fanno incetta, con tecniche analoghe, di un identico tipo di cibo” (1992, trad. it.: 174); è evidente che questo livello, per quanto utile in alcuni studi settoriali di ecologia, non riguarda tutte le popolazioni presenti in una biocenosi, ma solo quelle degli eterotrofi.

Gli esempi riportati rivelano una ambiguità nel concetto di livello di organizzazione: da una parte, si immagina che i nostri elenchi riflettano una stratificazione reale delle entità biologiche; dall'altra, è evidente che la scelta e il numero dei livelli rispondono anche a criteri di comodità espositiva, di utilità euristica e, forse, di distribuzione delle cattedre universitarie.

#### *4 - La generalità delle entità biologiche*

Una scala di livelli di organizzazione che viene proposta in trattati di biologia generale deve avere un campo di applicazione generale: qualsiasi entità vivente deve comprendere tutte le entità di livello inferiore ed essere compresa in tutta la serie superiore. Evidentemente questo non accade: così, gli organuli (s. str., cioè con biomembrana) mancano nelle cellule procarioti, mentre tessuti, organi e apparati mancano negli unicellulari, e non si danno popolazioni nel caso di entità viventi a riproduzione uniparentale asessuale.

Una conseguenza di questa mancanza di generalità è che alcune entità biologiche possono figurare a più livelli, alimentando il sospetto di contraddittorietà dell'elenco; così, una cellula procariote è sia una cellula sia una entità vivente; una cellula eucariote è, a rigore, sia cellula sia entità vivente sia ecosistema, in cui coesistono entità viventi di specie (almeno in origine) distinte.

Sarebbe dunque auspicabile l'eliminazione dei livelli non relativi a tutte le entità viventi<sup>5</sup>.

#### *5 - L'ordinamento dell'elenco*

Dato un elenco di entità biologiche, occorre scegliere un criterio per ordinare i suoi livelli.

Di solito, il primo criterio che viene in mente è una grandezza estensiva, come la lunghezza o il volume; ma subito ci si rende conto che vi sono cellule procarioti più piccole di organuli eucarioti, e che non ha senso parlare di lunghezza di una popolazione; eppure, c'è chi sostiene che i livelli vanno “dal più grande al più piccolo” (Odum 1983, trad. it.: 3).

Un secondo criterio è di inclusione: ogni entità biologica include entità

biologiche del livello inferiore. L'inclusione va intesa in senso debole, come relazione insiemistica; se volessimo intenderla in senso topologico-spaziale, dovremmo precisare cosa significhi, ad esempio, dire che una popolazione include, topologicamente-spazialmente, le entità viventi che la costituiscono<sup>6</sup>. Come è ovvio, il criterio non coimplica che ogni entità biologica sia inclusa in una di livello superiore: ad esempio, le macromolecole del citoplasma non sono incluse in alcun organulo, benché siano poi incluse nella superiore entità cellulare; così pure, alcune cellule mobili sono capaci di entrare e uscire dai tessuti di un pluricellulare<sup>7</sup>. È altresì evidente che non sempre le entità biologiche includono solo entità biologiche del livello inferiore: ciò vale per alcuni livelli (una popolazione include solo entità viventi; in un bioma non v'è altro che biocenosi), ma non per tutti (un organulo include macromolecole ma anche acqua e altre specie chimiche).

Se il criterio inclusivo funziona, perché non parlare di livelli di inclusione? Perché aggiungere la clausola restrittiva che si tratti di una inclusione organizzata?

Al concetto di inclusione, l'organizzazione aggiunge il criterio della subordinazione. Nella concezione aristotelica, le parti di una entità vivente sono ad essa subordinate<sup>8</sup>, in un rapporto verticale bottom-up: la parte è strumento del tutto, e non può esistere senza il tutto; come una casa non esiste in vista dei mattoni, ma i mattoni in vista della casa, e come i mattoni non si danno mai separati dalla casa (*De Part. An.*, I, 5, 645a; II, 1, 646a), così un organulo è strumento della cellula, né esiste indipendentemente da essa. Il concetto è stato modificato da Kant: l'esistenza e la forma delle parti sono possibili solo in relazione al tutto, e viceversa; ad esempio, le foglie sono prodotte dall'albero, ma al contempo lo conservano e producono a loro volta, in un rapporto verticale top-down e bottom-up (*Crit. della Capac. di Giud.*, 65)<sup>9</sup>.

Quando i biologi contemporanei parlano di livelli di organizzazione, a quale concezione si ispirano? Evidentemente, chi all'una chi all'altra<sup>10</sup>. Per quanto mi riguarda, voglio sottolineare che le tre condizioni dell'organizzazione non si realizzano per ogni entità biologica dell'elenco; ecco alcuni esempi:

- una sovraentità biologica è causa efficiente delle sottoentità (top-down): non lo si può dire della biocenosi, che non produce o causa o è strumento delle entità viventi che la compongono; è vero che io sono prodotto da entità della biocenosi, i miei genitori soprattutto, ma non

dalla biocenosi come tale;

- le sottoentità sono causa efficiente della sovraentità (bottom-up): nell'ontogenesi umana, gli organi non producono l'entità vivente, ma si differenziano entro questa (su questo punto tornerò più avanti); in molte patologie, la parte malata non solo è inutile, ma anche dannosa per il tutto; essa è pertanto causa efficiente, ma di una sovraentità alterata, o della distruzione della sovraentità;

- le sottoentità non esistono senza la sovraentità: la cellulosa di questo foglio di carta dimostra il contrario, e un naufrago solitario può vivere anche sganciato da ogni popolazione umana<sup>11</sup>.

C'è un'ultima difficoltà, che prescinde dal concetto di subordinazione. Se qualificiamo i livelli dell'elenco come organizzativi, tenderemo a pensare che l'organizzazione biologica riguardi solo gli aspetti materiali, visto che tutte le entità elencate sono corpi materiali o insiemi di corpi materiali. Al contrario, si possono ipotizzare livelli di organizzazione anche per altre entità biologiche, ad esempio processuali o informativi.

#### *6 - Le tentazioni della ragion pigra*

L'ambiguità induce in tentazione; nel nostro caso, le ambiguità rilevate da un canto stimolano la revisione critica, dall'altro ci invitano a usare l'elenco come soporifero della mente, crepuscolo in cui ogni vacca è nera, minestrone da cui tirar fuori tutto e il contrario di tutto.

I sacri testi dell'olismo deterioro, della sistemica acriticamente analogica e dei sincretismi più azzardati sono pieni di variazioni sul tema, ma forse tutti abbiamo peccato in parole o pensieri tautologici: chi non ha mai affermato che la cellula è il costituente di base dei viventi, per sostenere altrove che tutti i viventi sono cellulari, scagli la prima pietra...

#### *7 - Organizzazione versus organizzamento*

Su tutto quanto ho detto fino ad ora si può anche transigere: in fondo, le ambiguità non sono eliminabili in assoluto, e sono legittimi anche elenchi dall'applicabilità limitata.

Non è invece accettabile la messa in moto della macchina dei livelli; il trasformare una fenomenologia sincronica in una eziologia diacronica; il confondere l'organizzazione statica con l'organizzamento dinamico, la genesi con il risultato, il divenire in fieri con l'essere in actu.

Il ragionamento fallace recita così: le entità biologiche di un livello si organizzano a costituire quelle di livello superiore, che a loro volta si

organizzeranno, e così via. Ad esempio, prima le macromolecole si organizzano in cellule, poi le cellule si organizzano a dare un tessuto, infine i biomi si organizzano a dare la biosfera. Non è così; da che c'è vita sulla Terra sono sempre coesistiti molti livelli dell'elenco e tutti i livelli generali, e ogni volta che una nuova entità vivente viene al mondo, lo fa a molti livelli. Facciamo alcuni esempi.

Si dice che le macromolecole possano organizzarsi a dare una entità vivente. Al contrario, macromolecole a composizione casuale mescolate omogeneamente in un disperdente non innescano la vita, né portano alla comparsa di una entità vivente, perché oltre alla presenza di macromolecole conta la specificità della loro composizione e topologia<sup>12</sup>.

Oppure, si può immaginare un apparato nervoso che incontra un apparato circolatorio e si organizza con esso per formare una entità vivente pluricellulare? Piuttosto, nel corso dell'ontogenesi (ad esempio umana) i due apparati si differenziano più o meno contemporaneamente, e intanto interagiscono, e tutto questo avviene entro una entità vivente che esiste già; il livello degli apparati non precede temporalmente il livello dell'entità vivente; l'embrione è una entità vivente già allo stadio di zigote, ben prima che si attuino l'istogenesi e l'organogenesi.

E cosa significherebbe dire che i biomi si organizzano portando ad esistenza la biosfera? È corretto dire invece che la biosfera esiste sempre in toto, e che l'interazione tra certe entità viventi e certe condizioni fisico-chimico-climatiche si manifesta, localmente, sotto forma di biomi diversi.

Di fronti a critiche tanto facili, sembra impossibile che qualcuno pensi davvero che i livelli inferiori abbiano preceduto in passato (filogeneticamente) e continuino a precedere oggi (ontogeneticamente) i livelli superiori. Ecco allora una vera chicca, tratta da uno di quei lavori che periodicamente vengono a proporci la Soluzione di tutti i problemi dell'universo: “nel corpo umano, per esempio, le macromolecole si autoassemblano in componenti cellulari chiamati organelli, che si autoassemblano in cellule; queste ultime si autoassemblano nei tessuti che, a loro volta, formano gli organi. Il risultato di questo fenomeno è un essere organizzato in una serie gerarchica di sistemi contenuti l'uno nell'altro”; e ancora: “col tempo, diversi aggregati di molecole si autoassemblarono a formare le prime strutture aventi una funzione specializzata - i precursori degli attuali organelli - le quali poi si combinarono per formare le prime, semplici cellule. In seguito, queste produssero proteine che si autoassemblarono per formare le impalcature di ancoraggio della

matrice extracellulare, che a loro volta favorirono l'autoassemblaggio di tessuti pluricellulari. Gli organi si svilupparono dall'autoassemblaggio di tessuti, e gli organismi complessi presero origine dalla combinazione e dal rimodellamento progressivo di più organi. In effetti, lo sviluppo di un embrione a partire da uno spermatozoo e una cellula uovo ripercorre tutti questi stadi di autoassemblaggio." (Ingber 1998: 40, 49). Ma anche un Autore per solito così penetrante come Jacob cede alle sirene di una legge generale di organizzazione: "gli organismi si costruiscono attraverso una serie d'integrazioni. In un primo momento, un certo numero di elementi simili si uniscono, dando vita a un insieme intermedio; poi questi insiemi si associano per costituire un insieme di livello superiore, e così di seguito. La complessità degli organismi viventi nasce per combinazione di elementi sempre più elaborati, per articolazione successiva di strutture che si subordinano le une alle altre" (1970, trad. it.: 352). Chiunque abbia letto Empedocle sorriderà, pensando che non c'è niente di nuovo sotto il sole, e che si continuano a spacciare antichissimi (e nel loro genere venerabili) miti per fatti scientifici: dalla terra "spuntarono molte tempie senza collo, e prive di spalle erravano braccia nude e occhi solitari vagavano senza fronti ... Ma poi che sempre più si mescolava demone a demone, queste membra insieme s'accordavano, come ciascuna s'incontrava e molte altre, oltre queste, continuamente nascevano" (Empedocle, fr. 57, 59, in Diels e Kranz 1951, trad. it., t. 1: 391, 392).

## **Conclusioni**

In conclusione, cosa pensare dell'elenco posto all'inizio?

Un valore ce l'ha. Le entità biologiche che vi compaiono, una volta disambiguato il significato, sono effettivamente oggetti di sapere specifico. Il suo ordinamento risponde a un criterio inclusivo lasso. Molti livelli sono abbastanza determinati e fecondi di problemi da nutrire interesse sottodiscipline della biologia. Si tratta però di un valore locale.

Non essendo molti livelli rappresentati generalmente, in generale si può dire solo che, ad un certo livello di inclusione, esistono certe entità biologiche studiate da certi settori della biologia. Pertanto, non sussiste alcuna fenomenologia generale dei livelli di organizzazione, o almeno di quei particolari (e presunti) livelli citati all'inizio.

Tanto meno è legittimo vedere in una fenomenologia a livelli l'indizio

di una causazione o di una successione di un livello rispetto ad un altro; non è possibile cioè nemmeno una teoria generale dell'organizzazione di quei livelli.

Come fondare criticamente, allora, un elenco di livelli biologici?

I seguenti requisiti sarebbero da rispettare:

- la distinzione tra livello ed entità biologica;
- la centralità di una entità biologica, il cui livello faccia da perno per tutti gli altri: l'entità vivente, la vita;
- la generalità: ogni livello deve essere generale, cioè valido per qualsiasi entità vivente; ogni entità vivente deve mostrare tutti i sottolivelli ed essere inclusa in tutti i sopralivelli;
- il criterio di scelta delle entità biologiche deve essere unico: o strutturale, o processuale, o altro;
- il criterio di ordinamento dei livelli deve essere dichiarato: inclusione, integrazione, organizzazione, composizione;
- l'elenco ordinato non deve essere esclusivo, ma affiancarsi ad altri elenchi costruiti con altre entità e altri criteri.

Costruire un elenco rispondente a tali requisiti, o almeno mostrarne la possibilità, sarebbe un servizio notevole alla biologia. Intanto, ecco un elenco provvisorio di elenchi da studiare criticamente, distinti in base al criterio di scelta delle entità biologiche:

- struttura sincronica: macromolecola-sopramolecola-organo s. l. (organulo di cellula od organo s. str. di pluricellulare)-entità vivente;
- processo: atto reattivo-reazione biochimica-via metabolica-settore metabolico-metabolismo (ovvero la vita di una entità vivente)-processi biocenotici-processi biosferici;
- informazione: allele-gene-genotipo (ovvero genoma, patrimonio genetico, programma, progetto)-pool genico;
- fenomenologia: stato di carattere-carattere-fenotipo;
- associazione: entità vivente-associazione s. latissimo; tra le associazioni vi sono: colonia, entità vivente pluricellulare, fusione di cellule, chimera, società, superorganismo, simbiosi di vario genere, biocenosi-bioma-biosfera;
- classificazione: entità vivente-popolazione-specie-...-regno;
- distribuzione spaziale: entità vivente-regione biogeografica.

**Bibliografia**

- Ageno, M. 1986. *Le radici della biologia*. Milano, Feltrinelli.
- Ageno, M. 1992 (II ed.). *Dal non vivente al vivente. Nuove ipotesi sull'origine della vita*. Palermo, Theoria (I ed. 1991).
- Ageno, M. 1994. *Che cos'è la vita?* Roma, Lombardo.
- Bocchi, G., e M. Ceruti. 1993. *Origini di storie*. Milano, Feltrinelli.
- Curtis, H., R. F. Evert e P. H. Raven. 1976 (II ed.). *Biology of Plants*. New York, Worth Publ. (trad. it. *Biologia delle piante*. Bologna, Zanichelli, 1979, III ed.)
- Danchin, A. 1981. Vita, 1144-1205. In: Romano, R. (ed.), *Enciclopedia*, vol. 14. Torino, Einaudi.
- Diels, H., e W. Kranz (eds.). 1951 (VI ed.). *Die Fragmente der Vorsokratiker*. Berlin, Weidmann (trad. it. *I Presocratici*. Roma-Bari, Laterza, 1993, V ed.).
- Ingber, D. E. 1998. L'architettura della vita. *Le Scienze*, 60 (355): 40-49.
- Jacob, F. 1970. *La logique du vivant*. Paris, Gallimard (trad. it. *La logica del vivente*. Torino, Einaudi, 1971).
- Lehninger, A. L. 1975 (II ed.). *Biochemistry*. s.l., Worth Publ. I ed. 1970 (trad. it. *Biochimica*. Bologna, Zanichelli, 1979).
- Lyons, J. 1981. *Language and Linguistics*. Cambridge, Cambridge U. P. (trad. it. *Lezioni di linguistica*. Roma-Bari, Laterza, 1982).
- Manin, J. I. 1978. Continuo/discreto, 935-986. In: Romano, R. (ed.), *Enciclopedia*, vol. 3. Torino, Einaudi.
- Miller, J. G. 1978 (II ed.). *La teoria generale dei sistemi viventi*. Milano, Angeli.
- Odum, E. P. 1983. *Basic Ecology*. CBS College Publ. (trad. it. *Basi di ecologia*. Padova, Piccin, 1988).
- Pinna, G. 1992. *Paleontologia*. Milano, Jaca Book.
- Wilson, E. O. 1992. *The Diversity of Life*. Harvard U. P. (trad. it. *La diversità della vita*. Milano, Rizzoli, 1993).