

Gli esseri viventi: un percorso sulla complessità (III parte)

L'Autore affronta il tema della complessità dei viventi a livello ecologico, livello nel quale la rete di meccanismi di regolazione raggiunge il massimo sviluppo e la massima complessità

In due precedenti articoli è stato affrontato l'aspetto della complessità degli esseri viventi prendendo in considerazione il livello molecolare, il livello cellulare e quello dell'organismo. A tal fine sono state proposte alcune attività che facevano riferimento ai principi della didattica ludica e che avevano lo scopo di evidenziare alcuni dei processi di regolazione presenti in ogni livello: essi fanno sì che i viventi possano essere dei sistemi omeostatici.

Offriremo ora una serie di spunti per affrontare l'argomento a livello ecologico, il livello nel quale la rete di meccanismi di regolazione raggiunge la massima complessità.

Il livello ecologico

In quest'ultima parte prenderemo in esame i meccanismi di regolazione presenti nei livelli di organizzazione che costituiscono l'oggetto di studio dell'ecologia, il livello dove essi raggiungono il loro massimo sviluppo. Importanti esempi di regolazione nell'ambito del dominio dell'ecologia sono:

1. i meccanismi che regolano la crescita delle popolazioni, mantenendo stabile il numero di individui attraverso la continua interazione tra il potenziale biotico e i fattori limitanti;
2. i processi che regolano l'equilibrio genetico delle popolazioni (legge di Hardy-Weinberg);
3. i meccanismi di regolazione a livello degli ecosistemi;
4. i meccanismi che controllano lo sviluppo di una successione ecologica

Inizieremo riflettendo sul concetto di popolazione: una popolazione è un gruppo di organismi appartenenti alla stessa specie che

vive contemporaneamente in una determinata area. Le popolazioni sono costituite da individui simili ma non uguali. È proprio questo il "nocciolo" del cosiddetto "pensiero popolazionale", in base al quale un insieme di esseri viventi è un qualcosa di completamente diverso da un insieme di oggetti inanimati qualsiasi: gli atomi di un pezzo di ferro o le molecole di un cubetto di ghiaccio sono tutti uguali, gli esseri viventi di una popolazione no, poiché ognuno di essi è unico e differente da tutti gli altri.

Ma quali sono i meccanismi che generano questa variabilità all'interno di una popolazione?

Essi, oltre che nelle mutazioni, sono da ricercare nella meiosi e nella fecondazione casuale tra i gameti. La meiosi, in particolare, crea variabilità non solo attraverso la ricombinazione genetica (crossing over), ma anche mediante la ripartizione casuale dei cromosomi omologhi. Quest'ultimo aspetto può essere modellizzato mediante l'esecuzione del seguente gioco, il cui obiettivo è quello di aiutare a comprendere il carattere di unicità di ogni sistema vivente.

Il gioco dei cromosomi¹

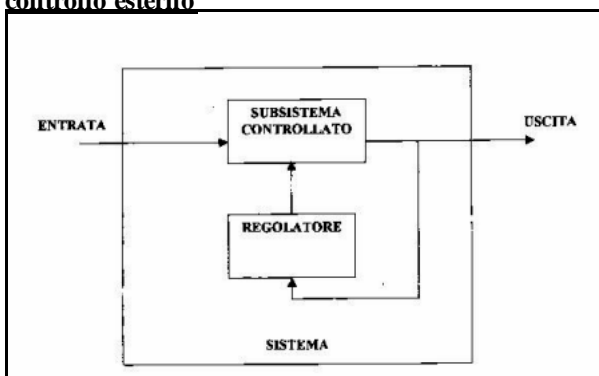
In 5 contenitori vengono distribuiti 2 cartellini per ciascuno contrassegnati rispettivamente con le lettere A e A', B e B', C e C', D e D', E ed E'. I cartellini con la stessa lettera simboleggiano le coppie di cromosomi omologhi, mentre il loro insieme esprime la situazione di una cellula diploide con 10 cromosomi ($n = 5$). Essa va incontro alla meiosi. Per visualizzare ciò che avviene durante tale processo a turno ogni alunno della classe estrae a caso un cartellino da ogni contenitore annotando sulla lavagna la particolare combinazione di cromosomi da lui ottenuta (ad esempio AB'CD'E'). Difficilmente potranno ottenersi due combinazioni uguali.

¹ Questo e gli altri giochi e attività sono tratti dalla guida per gli insegnanti del testo V. Boccardi, *Moduli di Biologia*, Editrice La Scuola, Brescia 2002.

La regolazione e la complessità degli ecosistemi

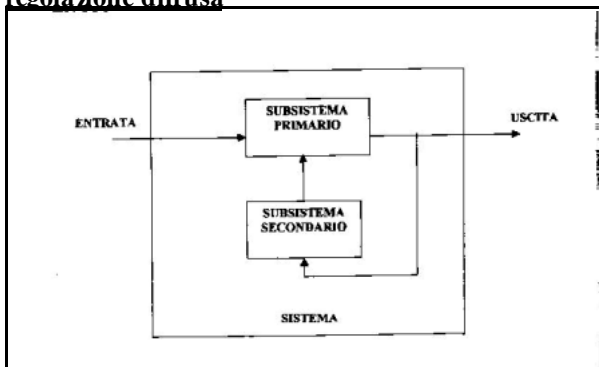
Ciò che differenzia i meccanismi omeostatici che intervengono a livello dell'organismo da quelli presenti in un ecosistema è che mentre i primi prevedono un meccanismo di regolazione a feedback con **controllo esterno** (Figura 1) (ad esempio la respirazione e la pressione sanguigna sono controllati da centri presenti nel midollo allungato e la temperatura corporea da un centro localizzato nell'ipotalamo), i secondi presentano un controllo a feedback con sistema di **regolazione diffusa**: in un ecosistema, infatti, non esiste alcuna regolazione esterna, ma i meccanismi di controllo sono interni e diffusi e consistono in interazioni tra i sottosistemi (Figura 2).

Figura 1 - Modello di controllo a feedback con controllo esterno



Questo tipo di regolazione prevede un regolatore esterno al sottosistema controllato ed è tipico di meccanismi omeostatici come la regolazione della respirazione, della pressione sanguigna e della temperatura corporea.

Figura 2 - Modello di controllo a feedback con regolazione diffusa



Questo tipo di regolazione consiste in interazioni tra i sottosistemi ed è tipico degli ecosistemi.

Ci soffermeremo ora più nei dettagli sui meccanismi di regolazione presenti negli ecosistemi,

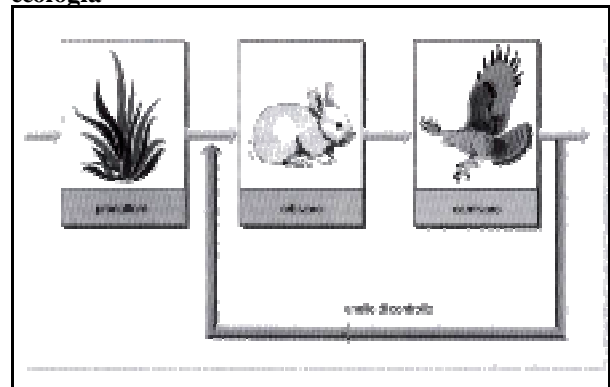
Oltre ai flussi di energia e ai cicli di materia, un'altra importante caratteristica degli ecosistemi è la presenza di vere e proprie reti di informazioni: essi, infatti, sono attraversati da continui flussi di informazioni fisiche e chimiche necessarie per i processi di regolazione. La regolazione è attuata attraverso meccanismi di feedback, che possono essere distinti in:

a) *feedback* negativi (*nodi a retroazione*): sono dei tipici meccanismi di correzione della variazione. Essi hanno un **effetto stabilizzante** e tendono al mantenimento dei sistemi intorno allo stato di equilibrio.

b) *feedback* positivi: sono meccanismi di esaltazione della variazione. Essi hanno **effetto destabilizzante** e in un sistema maturo portano alla sua distruzione.

Un esempio di feedback che si realizza in un ecosistema regolando le catene alimentari è illustrato nella Figura 3.

Figura 3 - Un semplice modello di feedback in ecologia



In un sistema a feedback è presente un anello di controllo grazie al quale l'uscita a valle, o parte di essa, è riciclata per controllare i componenti a monte.

L'anello di controllo in questo caso è rappresentato dalla predazione dei carnivori, che riduce e quindi controlla l'accrescimento degli erbivori presenti a monte della catena alimentare; esso trasforma un sistema lineare in un sistema parzialmente circolare.

Il ruolo dei meccanismi di retroazione emerge in modo particolarmente chiaro durante lo sviluppo di una successione ecologica: i *feedback* positivi intervengono nelle fasi iniziali, durante le quali esercitano una funzione costruttiva. Quando, ad

esempio, su di una roccia nuda cominciano a crescere i primi organismi di una specie pioniera, si instaura un meccanismo di feedback per cui i primi individui che colonizzano la roccia facilitano la crescita dei successivi, e così via. In tale fase è necessario infatti un rapido incremento dell'occupazione dello spazio. I *feedback* negativi stabilizzanti regolano invece le fasi mature. In un sistema maturo il numero di individui di una specie ha raggiunto la capacità portante dell'ambiente. Un loro ulteriore incremento determina un aumento della competizione, con conseguente diminuzione del numero di individui, che oscilla così solo di poco intorno a valori pressoché costanti.

Man mano che una successione ecologica progredisce, il susseguirsi degli stadi serali comporta anche un aumento della biodiversità, cioè del numero di specie presenti in ogni stadio, che raggiunge il massimo grado con lo stadio climax. Il mantenimento di una notevole biodiversità nello stadio finale della successione ecologica è reso possibile da almeno tre fattori:

1. il gran numero di informazioni circolanti nell'ecosistema;
2. il notevole numero di proprietà emergenti che lo caratterizzano, proprietà che non possono essere ricondotte a quelle delle singole parti del sistema;
3. il tipico equilibrio dinamico che lo rende stabile grazie ai meccanismi di feedback negativo.

Lo stadio climax è quindi quello che raggiunge la massima complessità, cioè il massimo numero di interazioni tra i suoi componenti e di meccanismi di controllo. Proprio la biodiversità dell'ecosistema è quindi un utile indice della sua complessità. Essa raggiunge il suo massimo grado nella biosfera: il livello più elevato di organizzazione della vita.

La conservazione dell'equilibrio della biosfera è una necessità sempre più urgente che le future generazioni potranno affrontare solo in un'ottica sistemica col contributo delle diverse discipline che si interessano all'ambiente. La problematicità relativa alla corretta gestione dell'ambiente, può essere

simulata in classe con lo svolgimento del seguente gioco di ruolo, il cui scopo è anche quello di ampliare il concetto di ecosistema includendo in esso anche l'uomo e le sue attività, secondo le recenti acquisizioni dell'ecologia de paesaggio (landscape ecology), un nuovo approccio allo studio dell'ambiente, e concentrandosi sull'importanza di un corretto rapporto uomo – natura.

Un gioco di ruolo sull'ambiente: "Il destino di Lago Verde"²

I giochi di ruolo (role playing) si basano sulla simulazione di una situazione reale. All'inizio del gioco il docente illustra alla classe una situazione problematica (nel gioco proposto quella relativa alla gestione di un'area naturale), in base alla quale i ragazzi dovranno improvvisare ciascuno un ruolo. In tal modo gli alunni si trasformano da spettatori in attori, immedesimandosi nelle parti precedentemente stabilite per ognuno di loro.

Per effettuare il gioco occorrono alcuni materiali:

- **I dati:** si tratta di un documento che aiuta a mettere a fuoco il problema e che è letto dal docente all'inizio del gioco (ad esempio un articolo di giornale, vedi Tabella I);

- **Le carte dei ruoli:** descrivono il ruolo in cui ogni partecipante si deve immedesimare (Tabella II).

Vanno inoltre stabilite delle **regole** che devono essere rispettate da tutti i partecipanti (Tabella III).

² La versione integrale del gioco è presente nella guida per gli insegnanti del testo V. Boccardi, *Moduli di Biologia*, Editrice la Scuola, 2002. Il gioco è liberamente ispirato a un gioco contenuto in *Progettiamo il Futuro, - Percorsi di educazione ambientale*, supplemento a "Legambiente notizie", n. 8, ottobre 1996, e all'esperienza dell'oasi naturalistica di Monte Nuovo (Campi Flegrei) realizzata dal Liceo Scientifico "E. Majorana" di Pozzuoli e dal Comune di Pozzuoli.

Tabella I - I dati

Quale futuro per Lago Verde?

“Domani si svolgerà un’assemblea per discutere la proposta d’istituzione di un’oasi naturalistica nella zona di Lago Verde. Nonostante l’abbandono e l’incuria che hanno contraddistinto tale area negli ultimi decenni, essa è ancora particolarmente interessante sia dal punto di vista naturalistico, sia per alcune importanti emergenze archeologiche di epoca romana. E’ per questo che l’Amministrazione Comunale, recependo una proposta partita dal mondo della scuola, si è fatta promotrice dell’iniziativa di trasformare tale area in un parco gestito dal Comune e dalla Scuola, dove gli alunni potranno svolgere attività di studio sul campo e di guida per i visitatori. Tutti i cittadini, negli orari fissati dal Comune, potranno avere libero ingresso all’area, per la quale saranno stabilite regole di accesso e di comportamento.

Tuttavia questa proposta ha scatenato numerose polemiche. Una prima difficoltà è

venuta dal mondo dell’Università e della Ricerca Scientifica, che teme che il troppo afflusso di gente a Lago Verde possa in poco tempo distruggere l’equilibrio di un ecosistema già fortemente compromesso. Per tale motivo propongono la costituzione di una riserva integrale, un progetto che vede d’accordo anche alcune associazioni ambientaliste. L’associazione degli Albergatori e dei Ristoratori e le Organizzazioni Sindacali sono invece favorevoli all’iniziativa comunale, che sicuramente porterà visitatori, e quindi nuovi guadagni e posti di lavoro, in una zona nella quale l’industria dà sempre più segnali di crisi.

Proprio per cercare un punto di accordo tra le varie parti, all’assemblea di domani sono stati invitati i rappresentanti di tutte le forze interessate al progetto. Si spera, infatti, che dal confronto delle idee possa scaturire una proposta accettabile per tutti che restituisca alla cittadinanza questo ancora meraviglioso lembo di verde”.

(Dal quotidiano locale)

Tabella II - Le carte dei ruoli

<i>Ruolo</i>	<i>Scopo</i>
La scuola	Recuperare l’area per renderla fruibile ai cittadini. Per tale motivo la scuola ha coinvolto attivamente gli alunni e genitori. Siete contro il progetto della riserva integrale perché renderebbe l’accesso alla zona molto difficile.
L’Università	Siete propensi per un progetto di riserva integrale, ma siete assolutamente contrari al progetto della scuola poiché l’afflusso dei visitatori, difficilmente controllabile, finirebbe col danneggiare irrimediabilmente la vegetazione e la fauna.
Associazione ambientalista	Sicuramente la scuola ha fatto un buon lavoro, facendo conoscere l’importanza del sito alla gente, ma l’unica soluzione che può garantire la conservazione della straordinaria biodiversità della zona è una riserva integrale.
Associazione degli Albergatori e Ristoratori	Le questioni ambientaliste vi interessano poco: la vostra speranza è che la realizzazione dell’oasi possa incrementare il numero di turisti della zona, agendo da volano per l’economia dell’area. Siete propensi al progetto della scuola, anzi vorreste realizzare sul posto anche strutture ricettive ed una megadisoteca
Amministrazione Comunale	Sin dal primo momento avete aderito al progetto della scuola, ma il vostro scopo è non perdere il consenso politico. E’ per questo motivo che siete diplomatici, nel tentativo di non scontentare nessuno.
Organizzazioni sindacali	Il settore industriale è in crisi e siete quindi particolarmente interessati alle iniziative che possano creare nuovi posti di lavoro. A tal fine la proposta della scuola è senz’altro valida, ma quella dei ristoratori vi sembra più efficace.
Stampa	Non avete nessun interesse in gioco se non quello di realizzare un buon articolo per il vostro giornale. Per tale motivo siete critici verso tutti: i vostri interventi hanno l’unico scopo di creare contrasti che possano contribuire a far nascere “il caso” di Lago Verde.

Tavola IX - Le regole

1. Tutti i giocatori devono immedesimarsi nei ruoli assegnati
2. Il docente fa da moderatore dell'assemblea
3. Prima dell'inizio dell'assemblea ogni gruppo ha 10 minuti di tempo per stabilire la sua strategia d'intervento. In particolare in ogni gruppo è opportuno concordare come difendere la propria posizione e quali sono gli aspetti eventualmente negoziabili.
4. All'inizio dell'assemblea ciascun gruppo presenta la sua posizione (2 minuti di tempo ciascuno)
5. L'assemblea dura 45 minuti e si conclude con una votazione. Ogni partecipante potrà scegliere tra le seguenti proposte: oasi naturalistica gestita dalla Scuola e dal Comune; riserva integrale ad accesso limitato gestita da un'associazione ambientalista; area naturalistica con ristoranti, alberghi e discoteca. Vince la proposta che ottiene più voti.

Vincenzo Boccardi – Liceo Scientifico
“Ettore Majorana” – Pozzuoli (NA)

Bibliografia

- E. P. Odum, *Principi d ecologia*, Piccin, 1973.
V. Ingegnoli, *Fondamenti di ecologia del paesaggio*, Città-Studi, Milano, 1993
B. Bertolini, *Immagini della Biologia*, Le scienze naturali nella scuola, n. 9, gennaio 1997.
V. Boccardi, *La definizione di vivente: un percorso strutturato intorno ad alcuni punti chiave*, Bollettino Sezione Campania A.N.I.S.N., n. 17, gennaio 1999.
M. Cini, *Il linguaggio delle Scienze della Natura e la visione del mondo*, relazione

tenuta nell'ambito della videoconferenza su “Valorizzazione della divulgazione scientifico-naturalistica con riferimento all'educazione ambientale”, Roma, 22 ottobre 1999, Ministero Pubblica Istruzione, Aula Centro Servizi Multimediali. Pubblicato su: “Memorie di Scienze Fisiche e Naturali”, Rendiconti della Accademia delle Scienze detta dei XL, serie V, vol. XXIII, parte II, tomo I, pag. 271-277, 1999.

B. Bertolini, “La biologia nella seconda meta del XX secolo”, *Didattica della Scienza*, n. 208, La Scuola, maggio 2000.

L. Galleni, *Biologia*, Collana Professione Docente, Editrice La Scuola, 2000.

V. Boccardi, *I viventi come sistemi complessi: spunti didattici*, Bollettino Sezione Campania A.N.I.S.N., n. 22, luglio 2001.

V. Boccardi, *Moduli di Biologia*, Editrice La Scuola, 2002.

Articolo pubblicato sul numero 220 di *Didattica delle Scienze* (maggio 2002)

Citare come:

Boccardi, V., “Gli esseri viventi: un percorso sulla complessità/3”, *Didattica Delle Scienze*, 5-8, 220, La Scuola, maggio 2002.