

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

Le Scienze della Vita comprendono argomenti che dalla biologia molecolare e cellulare, spaziano alla fisiologia, alla sistematica, all'evoluzione fino all'ecologia. Come orientarsi in questa enorme vastità di contenuti? Quale "filo conduttore" utilizzare per unificarli?

Nella mia attività di docente ho spesso avvertito questa difficoltà, che ho cercato di superare elaborando un percorso che ho concretamente sperimentato nelle classi del liceo scientifico in cui insegno. Esso, partendo dalla definizione di essere vivente, mette a fuoco una delle loro più importanti caratteristiche: la presenza di una serie di **livelli di organizzazione** ognuno dei quali costituisce un "**sistema complesso**". Le attività da svolgere con gli alunni e i suggerimenti presentati in quest'articolo fanno riferimento proprio ai diversi livelli di organizzazione dei viventi. In questo numero viene affrontato il livello molecolare, in un successivo contributo saranno dati spunti per attività relative ai livelli di organizzazione superiori. Alcune attività, come il gioco dei livelli di organizzazione, l'enzima che cambia forma e il muro metabolico, sono più adatte al biennio (nel caso specifico sono state sperimentate in una seconda classe di liceo scientifico tradizionale), altre, come quella sull'operone "trp", richiedono un livello di approfondimento maggiore (l'esperienza è stata realizzata in una terza). Gli alunni del triennio possono in ogni caso essere coinvolti come conduttori dei giochi.

Nessun'altra scienza è così sconfinata come la biologia: persino col suo nome si riferisce ad un oggetto che non sa definire
Erwin Chargaff

Che cos'è un essere vivente?

Sin dall'epoca classica vi è stato un continuo tentativo di definire, in maniera esauriente, la vita, oggetto di studio della biologia. In realtà è **molto più utile definire le caratteristiche degli esseri viventi per risalire da esse a che cosa debba intendersi per "vita"**. Le caratteristiche che occorre considerare per definire gli esseri viventi sono il frutto di un lungo iter attraverso i secoli, durante il quale i termini stessi adoperati per descriverle hanno acquisito spesso un diverso significato.

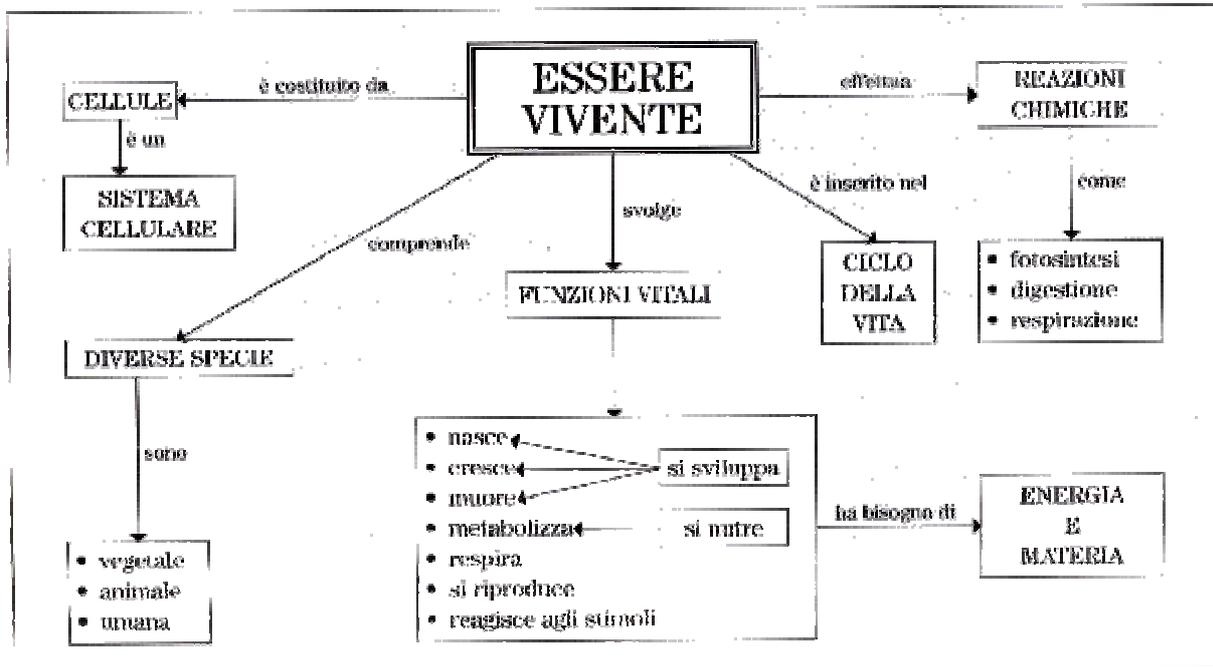
In ogni caso la definizione di organismo vivente ha un senso diverso dalle definizioni che si adoperano in fisica o in geometria. Mentre infatti gli oggetti di studio della fisica o della geometria presentano proprietà oggettive e costanti nel tempo, **gli esseri viventi rappresentano invece un qualcosa di continuamente mutevole nel tempo e nello spazio**: gli animali e le piante di oggi non sono gli stessi che popolavano la terra milioni di anni fa; gli atomi invece sì!

Sulla base delle considerazioni precedenti è possibile suggerire alla classe questa domanda:

Quali sono le caratteristiche che definiscono gli esseri viventi?

Si potrebbe procedere nel seguente modo: ogni alunno è invitato a scrivere su di un foglio la propria definizione di essere vivente (3-5 righe). L'insegnante legge tutte le definizioni fornite dagli alunni e mettendole insieme viene elaborata, eventualmente anche in forma di mappa concettuale, la definizione di essere vivente della classe (Figura 1).

Fig. 1 Una mappa concettuale sulle caratteristiche degli esseri viventi realizzata da una seconda classe di liceo scientifico.



Successivamente si legge questa definizione di vivente fornita da Omodeo, uno studioso particolarmente attento alle problematiche della biologia contemporanea¹, che è stata scelta perché particolarmente rigorosa e completa:

“Un essere vivente è un sistema cellulare aperto, autoriproducibile, attraversato da flussi autoregolati di materia, di energia e di informazione che ne consentono la crescita, lo sviluppo e la conservazione dello stato stazionario. Per queste loro caratteristiche le popolazioni dei viventi sono in grado di evolversi nel tempo adeguandosi alle mutevoli condizioni ambientali”.

Tale definizione sarà quindi confrontata con quella della classe: al di là del linguaggio specifico, molte delle proprietà enunciate da

¹ La frase è tratta da Pietro Omodeo, *Che cos'è il vivente? Storia di una domanda e dei tentativi di risposta*, CDrom “Le Scienze naturali: spunti per una riflessione storico-epistemologica”, M.P.I. – A.N.I.S.N., Collana Classica Ipermedia, n. 1, 1999. Il CD contiene le relazioni e i lavori del corso di aggiornamento per docenti di scienze naturali tenutosi a Mola di Bari dal 24 al 29 novembre 1997.

Omodeo, dovrebbero essere già emerse dagli alunni. Il confronto consentirà però al docente di ridefinirle meglio, proponendo alcuni dei concetti centrali che accompagnano costantemente gli alunni nello studio della biologia.

Questo lavoro permetterà inoltre di mettere in risalto una delle caratteristiche fondamentali dei viventi: quella di essere “sistemi aperti”, sistemi cioè costituiti da parti che interagiscono tra loro e sono continuamente attraversati da flussi regolati di materia, di energia e di informazione. Le caratteristiche fondamentali di tali sistemi sono (Tavola I):

1. La presenza di una serie di “livelli di organizzazione” le cui proprietà non possono essere ricondotte unicamente a quelle del livello precedente. Dal livello di organizzazione delle cellule in su emerge inoltre un fenomeno del tutto particolare: la vita.
2. Una serie di flussi di energia, di materia e di informazioni che attraversano i viventi costituendoli come “sistemi aperti”;

3. Il carattere autoreferenziale della loro struttura interna che comporta la presenza di una serie di *meccanismi di regolazione e di controllo* che è possibile trovare a tutti i livelli della scala gerarchica dei viventi;
4. L'impossibilità di spiegare la storia dei viventi ricorrendo unicamente a spiegazioni di tipo deterministico: la loro evoluzione è stata, infatti, fortemente condizionata da eventi aleatori ed ha pertanto una chiara connotazione di tipo storico.

Tavola I
Tre caratteristiche fondamentali dei sistemi biologici come
“*sistemi complessi*”
(secondo M. Cini²)

<i>Caratteristica</i>	<i>Conseguenza</i>
Presenza di diversi livelli di organizzazione	Impossibilità di una spiegazione riduzionista del rapporto tra due livelli
Sistemi aperti	Flussi di materia, energia e di informazione
Carattere di autoreferenzialità degli esseri viventi e di autorganizzazione della loro struttura interna	Generalizzazione del concetto di <i>feedback</i> (retroazione) come meccanismo che consente l'autorganizzazione
Irriducibilità della loro storia a fattori strutturali	Intervento aleatorio di fattori esterni nell'evoluzione dei processi (ruolo del caso e dipendenza dal contesto)

² 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.

A questo punto l'attenzione si concentrerà sul concetto di livelli di organizzazione con un gioco.

Il gioco dei livelli di organizzazione³

La didattica ludica può essere molto utile per far acquisire agli allievi concetti fondamentali della biologia come quello di livelli di organizzazione⁴.

Questo tipo di approccio è inoltre in grado di motivare fortemente sia gli alunni che progettano e conducono il gioco, i quali si trovano spesso a dover fronteggiare situazioni impreviste, sia gli alunni ai quali il gioco viene proposto. In entrambi si sollecita la curiosità e viene stimolata la capacità di osservazione e di valutazione critica dell'oggetto di studio della biologia: i viventi.

Il gioco richiede una fase di pre-elaborazione delle conoscenze durante la quale il docente spiega alla classe i livelli di organizzazione dello spettro biologico e le loro principali caratteristiche e si prepara un grosso cartellone con l'indicazione dei vari livelli, dalle particelle subatomiche, alle molecole, alle cellule agli organismi fino alla biosfera. (Figura 2) Contemporaneamente si concordano le definizioni dei vari livelli di organizzazione. La classe è quindi divisa in gruppi ognuno dei quali ha il compito di raccogliere immagini relative ai vari campi di studio della biologia (cellule, tessuti, organuli, molecole, popolazioni, ...). Le immagini, dopo un'opportuna discussione in classe, vengono quindi incollate su dei cartoncini e i cartoncini vengono messi in un cestino.



Fig. 2 Il tabellone del gioco sui livelli di organizzazione dei viventi.

A questo punto tutto è pronto per eseguire il gioco: gli alunni sono divisi in due squadre ciascuna delle quali nomina un caposquadra. A turno i capisquadra estraggono un cartellino dal cestino e, dopo essersi consultati con i compagni di squadra, lo dispongono sul livello di organizzazione corrispondente. Se la collocazione è giusta viene attribuito un punto. Un ulteriore punto viene assegnato se la squadra è in grado di fornire una definizione corretta del livello di organizzazione indicato. Vince la squadra che totalizza più punti. Un gruppo di alunni fa da conduttore verificando l'esattezza delle collocazioni e delle definizioni fornite.

La complessità dei viventi

Il gioco precedente permette di cogliere le proprietà emergenti di ogni livello di organizzazione; esse fanno sì che nel passaggio da un livello all'altro si verifichi un aumento della complessità del sistema. Ma come è possibile esprimere in qualche modo la complessità di un livello di organizzazione? Le parti che costituiscono ognuno dei livelli di organizzazione dei viventi non solo interagiscono tra loro ma sono sottoposte a processi di regolazione che ne fanno dei sistemi omeostatici. E' proprio l'abbondanza

³ Questo e gli altri giochi e attività sono tratti dalla guida per gli insegnanti del testo V. Boccardi, *Moduli di Biologia*, Editrice La Scuola, 2002.

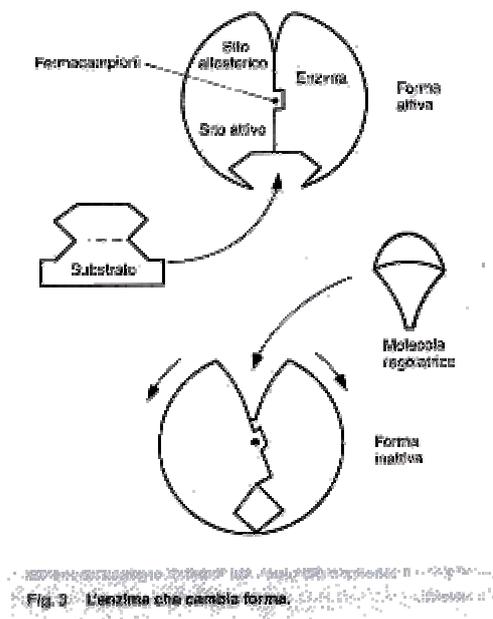
⁴ Il tema dei diversi livelli di organizzazione dei viventi può essere un buon filo conduttore per lo svolgimento di un percorso di biologia anche a livello universitario. Su di esso è attualmente impostato il corso integrato di biologia per scienze naturali della Facoltà di Scienze dell'Università degli Studi di Milano. Si veda in proposito: M. Ferraguti, *Esperienze sul corso integrato*, Atti XII Convegno Nazionale A.N.I.S.N., Milano, 28 – 31 marzo 2001, Bollettino dell'A.N.I.S.N., n. 18, dicembre 2001.

di tali meccanismi omeostatici che può costituire un valido indice della loro complessità. D'ora in poi la nostra attenzione si concentrerà pertanto nel cogliere in ognuno dei livelli di organizzazione i meccanismi di regolazione che ne fanno un sistema autoregolato, consentendo alla vita il carattere di autoreferenzialità e di autorganizzazione.

Il primo livello che considereremo è quello molecolare: per fornire ai ragazzi l'evidenza di come i viventi mostrino la loro caratteristica di essere sistemi autoregolati già a livello delle biomolecole, potrà essere realizzata la seguente attività.

L'enzima che cambia forma

Viene costruito un semplice modello in cartoncino di un enzima costituito da due parti articolate per mezzo di un fermacampioni (Figura 3).



Esso presenta due incastri: uno per il *substrato* (**sito attivo**) ed uno per una *molecola regolatrice* (**sito allosterico**), molecola che generalmente è il prodotto finale della catena metabolica in cui l'enzima è coinvolto. Quando il sito allosterico viene occupato dalla molecola regolatrice, il modello cambia forma, ruotando intorno al perno centrale. In particolare viene così a

modificarsi la forma del sito attivo, che ora non è più capace di legare il substrato.

Con questa semplice attività potranno essere modellizzati:

- 1) la possibilità di **variazioni conformazionali** nella struttura di una proteina;
- 2) il meccanismo di **regolazione dell'attività enzimatica** per mezzo di un secondo sito (sito allosterico).

Il muro metabolico

Nell'ambito della bioenergetica si potrà approfondire il concetto di regolazione delle catene metaboliche effettuando questa semplice attività.

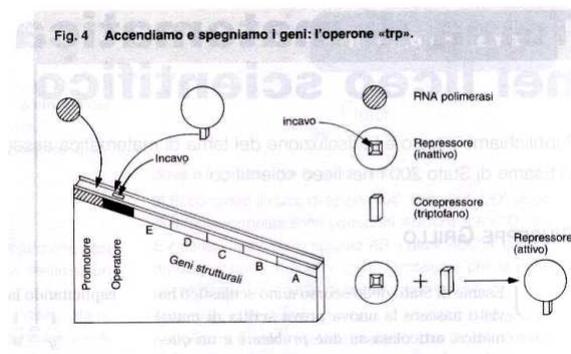
Un gruppo di ragazzi ha il compito di costruire un piccolo muro facendo il passamano con dei "mattoni" (possono essere utilizzati mattoncini tipo "Lego"). I ragazzi si dispongono in fila: il primo di essi prende un "mattonne" da un mucchio e il "mattonne" passa di mano in mano fino ad arrivare all'ultimo, che lo colloca al posto giusto. Quando il muro sta per finire, l'ultimo ragazzo dirà al primo di smettere di inviare mattoni, interrompendo la catena.

Questa attività, oltre a drammatizzare il concetto di **catena metabolica** (una serie di enzimi che agiscono in successione in modo tale che il prodotto del precedente diventa il substrato per il successivo), consente di introdurre il concetto di **regolazione di una catena metabolica**: il gioco rappresenta infatti un modello di regolazione a **feedback negativo** nel quale il prodotto finale della catena (il muro) blocca l'intero processo. Tipicamente **viene regolato il primo enzima di una catena metabolica**: il ragazzo che sta costruendo il muro trova infatti più utile rivolgersi al primo della catena per bloccare del tutto il flusso di mattoni.

Accendiamo e spegniamo i geni: l'operone "trp"

Un argomento della genetica che potrà essere approfondito realizzando un modellino in legno di un operone, l'**operone "trp"**, è quello dei meccanismi di regolazione

dell'espressione dei geni. Il modello dell'operone fu proposto per la prima volta dagli scienziati francesi F. Jacob e J. Monod, ed è tuttora valido soprattutto per gli organismi procarioti. L'operone "trp" è un chiaro esempio di feedback negativo a livello della trascrizione di una serie di geni i cui prodotti agiscono coordinatamente in una sequenza metabolica che realizza la sintesi dell'amminoacido **triptofano**. In assenza di triptofano i geni vengono trascritti e l'amminoacido sintetizzato, in presenza di triptofano la trascrizione dei geni è invece bloccata. Il triptofano agisce da corepressore, legandosi al repressore ed attivandolo. Il complesso repressore-corepressore si lega quindi all'operatore, bloccando la trascrizione.



Nel modellino in legno, una pallina scivola lungo un piano inclinato (Figura 4), simboleggiando l'enzima **RNA polimerasi** che effettua la **trascrizione**. Essa comincia il suo percorso dal **sito promotore**, per poi passare all'**operatore** ed ai **geni strutturali**. Una seconda pallina (**repressore**) può legarsi all'operatore, bloccando la trascrizione. Il repressore è normalmente inattivo, cioè incapace di legarsi all'operatore, per cui i geni vengono trascritti. L'azione di una seconda molecola (un piccolo pezzo di legno che si incastra sia nella pallina repressore che nell'operatore, agendo da **corepressore**), consente al repressore di legarsi all'operatore, "spegnendo" il gene.

Conclusioni

Nel complesso queste attività forniscono al docente l'opportunità di

approfondire tre interessanti esempi di regolazione a livello molecolare: la prima attività, gli enzimi che "cambiano forma", costituisce il presupposto per comprendere la regolazione delle catene metaboliche, argomento della seconda, mentre la terza, il modello dell'operone "trp", sposta l'attenzione sulla regolazione dei geni e quindi sul flusso di informazioni che dal genotipo (DNA) si svolge verso il fenotipo (proteine), flusso sottoposto anch'esso a regolazione. Nell'insieme andrà così chiaramente delineandosi come, già a livello delle interazioni tra le biomolecole, esistono meccanismi di regolazione che evidenziano la complessità dei sistemi viventi. In un successivo articolo offriremo ulteriori spunti per affrontare l'argomento della complessità ai livelli di organizzazione successivi.

Vincenzo Boccardi – Liceo Scientifico "Ettore Majorana" – Pozzuoli (NA)

Bibliografia

- P. Davies, *Il cosmo intelligente*, Grande Biblioteca Discovery, Mondadori De Agostini, 1994.
- M. Cini, *Un paradiso perduto*, Feltrinelli, 1994.
- 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.
- P. Omodeo, *Che cos'è il vivente? Storia di una domanda e dei tentativi di risposta*,

CDrom “Le Scienze naturali: spunti per una riflessione storico-epistemologica”, M.P.I. – A.N.I.S.N., Collana Classica Ipermedia, n. 1, 1999. Il CD contiene le relazioni e i lavori del corso di aggiornamento per docenti di scienze naturali tenutosi a Mola di Bari dal 24 al 29 novembre 1997.

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.

M. Ferraguti, *Esperienze sul corso integrato*, *Atti XII Convegno Nazionale A.N.I.S.N.*, Milano, 28 – 31 marzo 2001, *Bollettino dell’A.N.I.S.N.*, n. 18, dicembre 2001.

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

Articolo pubblicato sul numero 218 di *Didattica delle Scienze* (febbraio 2002)

Citare come:

Boccardi, V., “Gli esseri viventi: un percorso sulla complessità”, *Didattica Delle Scienze*, 5-9, 218, La Scuola, febbraio 2002.

Figura 2 – Il tabellone del gioco
Il gioco dei livelli di organizzazione dei viventi

