

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

Dopo un primo contributo riguardante il livello molecolare, l'Autore offre una serie di spunti per affrontare l'argomento della complessità dei viventi ai livelli di organizzazione successivi: il livello cellulare e quello dell'organismo.

In un precedente articolo gli esseri viventi sono stati definiti come “sistemi cellulari aperti” e sono state evidenziate alcune loro proprietà fondamentali, come la presenza di una serie di “*livelli di organizzazione*”, le cui proprietà non possono essere ricondotte unicamente a quelle del livello precedente; una serie di flussi di energia, di materia e di informazioni da cui sono attraversati, il carattere autoreferenziale della loro struttura interna, che comporta la presenza di *meccanismi di regolazione e di controllo* che è possibile trovare a tutti i livelli della scala gerarchica della vita, l'impossibilità di spiegare la loro storia evolutiva ricorrendo unicamente a spiegazioni di tipo deterministico, in quanto fortemente condizionata da eventi aleatori e con una chiara connotazione di tipo storico.

In particolare è stato preso in esame il livello molecolare e sono state proposte alcune attività che facevano riferimento ai principi della didattica ludica, un tipo di approccio in grado di motivare fortemente gli alunni. Esse erano finalizzate a cogliere la complessità di tale livello di organizzazione, evidenziando alcuni dei processi di regolazione presenti al suo interno che ne fanno un sistema omeostatico.

In questo articolo offriremo una serie di spunti per affrontare l'argomento della complessità dei viventi ai livelli di organizzazione successivi: il livello cellulare, quello dell'organismo e il livello ecologico. Mano a mano che si sale lungo la scala gerarchica dei livelli di organizzazione, la rete di meccanismi di regolazione diventa sempre più ampia e intricata, un chiaro indice dell'aumento della complessità.

Il livello cellulare e quello dell'organismo

...fecero dunque una congiura, e convennero che le mani non portassero più il cibo alla bocca, che la bocca rifiutasse quello che le veniva offerto, che i denti non masticassero quello che ricevevano. La conseguenza di questa ribellione fu che non soltanto il ventre, ma anche le membra e tutto il corpo si ridussero a un estremo esaurimento.

Tito Livio, *Storia di Roma*

Questa frase è tratta dal famoso apologo di Menenio Agrippa, e rappresenta una felice intuizione della **struttura sistemica dell'organismo**: un sistema costituito da parti che interagiscono e sono sottoposte a meccanismi di regolazione reciproca. Tutto ciò che si verifica in una parte di un sistema, ha quindi ripercussioni sull'intero sistema.

Già a livello cellulare sono presenti diversi meccanismi di regolazione, come quelli che controllano la crescita e la divisione cellulare, la morte cellulare programmata (apoptosi), lo sviluppo delle cellule cancerose mediante l'azione opposta degli oncogeni e dei geni soppressori, e molte altre.

In ogni caso un aspetto che andrebbe sottolineato è che le cellule sono in grado di comunicare tra loro, scambiandosi informazioni, mediante segnali che prevedono il riconoscimento specifico tra due molecole. Alcune interazioni molecolari che consentono la comunicazione nelle cellule o tra le cellule sono riportate nella Tavola I

Tavola I Alcune interazioni molecolari

- **Enzima – Substrato**
- **Enzima (sito allosterico) – Prodotto**
- **Neurotrasmettitore – Recettore**
- **Ormone – Recettore**
- **Antigene – Anticorpo**
- **Repressore – Operatore**

Tavola II
Alcuni meccanismi di regolazione
presenti nel corpo umano

- l'azione antagonista dei sistemi simpatico e parasimpatico, che nel complesso modulano l'attività della maggioranza degli organi interni,
- l'azione dei neurotrasmettitori e dei neuromediatori, che controllano la trasmissione dei segnali a livello delle sinapsi,
- tutti i meccanismi di feedback che caratterizzano l'azione del sistema endocrino,
- i diversi ormoni che interagiscono nel controllare i livelli di glucosio nel sangue (vedi Tavola III),
- i meccanismi di regolazione della contrazione muscolare, del battito cardiaco, della pressione arteriosa, della respirazione, delle funzioni digestive, ecc.
- il controllo ormonale dell'apparato urinario,
- la regolazione della risposta immunitaria, con le complesse interazioni tra i linfociti e altri tipi di cellule dell'organismo quasi sempre regolate dai recettori codificati dai

geni del complesso maggiore di istocompatibilità,

- i complessi feedback ormonali che controllano la fertilità, regolando nell'uomo la produzione degli spermatozoi e nella donna il ciclo mestruale,
- i meccanismi che controllano i vari livelli della determinazione del sesso nell'uomo (sesso cromosomico, gonadico, ipotalamico, genitale).

Dal punto di vista didattico è però a livello dell'organismo che è più facile trovare diversi esempi che mettono in evidenza i processi di regolazione tra gli organi e gli apparati. Tali meccanismi, pur sfruttando processi che avvengono ai livelli precedenti, come il legame specifico tra diversi tipi di biomolecole, costituiscono un vero e proprio salto di qualità poiché rientrano in un quadro di interazioni tra cellule, tessuti, organi e apparati che fanno degli organismi pluricellulari dei sistemi di gran lunga più complessi. Nella Tavola II sono riportati alcuni esempi di meccanismi omeostatici dell'organismo; meccanismi simili sono presenti anche nei vegetali (ad esempio il controllo della crescita di una pianta attuato dagli ormoni vegetali).

Tavola III - Gli ormoni che regolano i livelli di glucosio ematico

a) Ormoni che fanno aumentare la concentrazione di glucosio nel sangue:

<i>Ormone</i>	<i>Organo bersaglio e funzione</i>
Glucagone	Fegato: scissione del glicogeno in glucosio
Adrenalina	Fegato: scissione del glicogeno in glucosio
Noradrenalina	Fegato: scissione del glicogeno in glucosio
ACTH	Surrenali: secrezione di cortisolo
Cortisolo	Fegato: conversione di grassi e proteine in glucosio

b) Ormoni che fanno diminuire la concentrazione di glucosio nel sangue:

<i>Ormone</i>	<i>Organi bersaglio e funzione</i>
Insulina	Fegato: sintesi di glicogeno a partire da glucosio
Ormone della crescita	Fegato: sintesi di glicogeno a partire da glucosio

Nella regolazione dei livelli di glucosio ematico sono implicati ben sei ormoni (insulina, glucagone, adrenalina, noradrenalina, cortisolo e ormone della crescita). Molto probabilmente la regolazione è così minuziosa al fine di assicurare un continuo rifornimento di tale zucchero alle cellule del cervello. Esse, infatti, a differenza delle altre cellule dell'organismo, possono utilizzare come fonte energetica unicamente il glucosio e risentono immediatamente di un basso livello di tale zucchero nel sangue.

Un'attività che potrebbe essere suggerita ai ragazzi è quella di ricercare nel libro di testo di tutti i processi che nell'organismo vengono regolati attraverso

l'intervento di meccanismi di tipo agonista – antagonista, caratterizzati da coppie di fattori dei quali uno stimola e l'altro inibisce un determinato processo (Tavola IV).

Tavola IV **Alcuni esempi di meccanismi del tipo agonista - antagonista**

Coppia	Funzione regolata
Insulina – Glucagone	Livelli di glucosio nel sangue
Calcitonina – Paratormone	Livelli di calcio nel sangue e nelle ossa
Aldosterone - Peptide cardiaco	Escrezione degli ioni sodio e potassio con le urine
Simpatico (adrenalina) - Parasimpatico	Attività degli organi interni
Muscoli estensori - Muscoli flessori	Movimento delle parti del corpo
Muscoli abduttori - Muscoli adduttori	Movimento delle parti del corpo
Muscoli costrittori - Muscoli dilatatori	Diametro di un'apertura naturale
Sinapsi eccitatorie - Sinapsi inibitorie	Potenziale di membrana
Linfatici T helper - Linfociti T suppressor	Risposta immunitaria
Oncogeni - Geni soppressori	Trasformazione cancerosa

La regolazione nel sistema endocrino

Prenderemo ora in esame in modo più accurato i processi di regolazione che intervengono nell'ambito del sistema endocrino.

Abbiamo già accennato ai meccanismi di feedback (o retroazione) a proposito della regolazione delle catene metaboliche. La regolazione dell'attività ormonale rappresenta anch'essa un buon esempio di retroazione. Si tratta in genere di meccanismi di feedback negativo, consistenti nel fatto che la secrezione di un determinato ormone fa sì che le cellule bersaglio producano effetti che inibiscono un'ulteriore secrezione dell'ormone. Ciò impedisce che una quantità eccessiva di un ormone, la cui azione è in generale molto intensa, possa prolungarsi per tempi troppo lunghi determinando conseguenze negative.

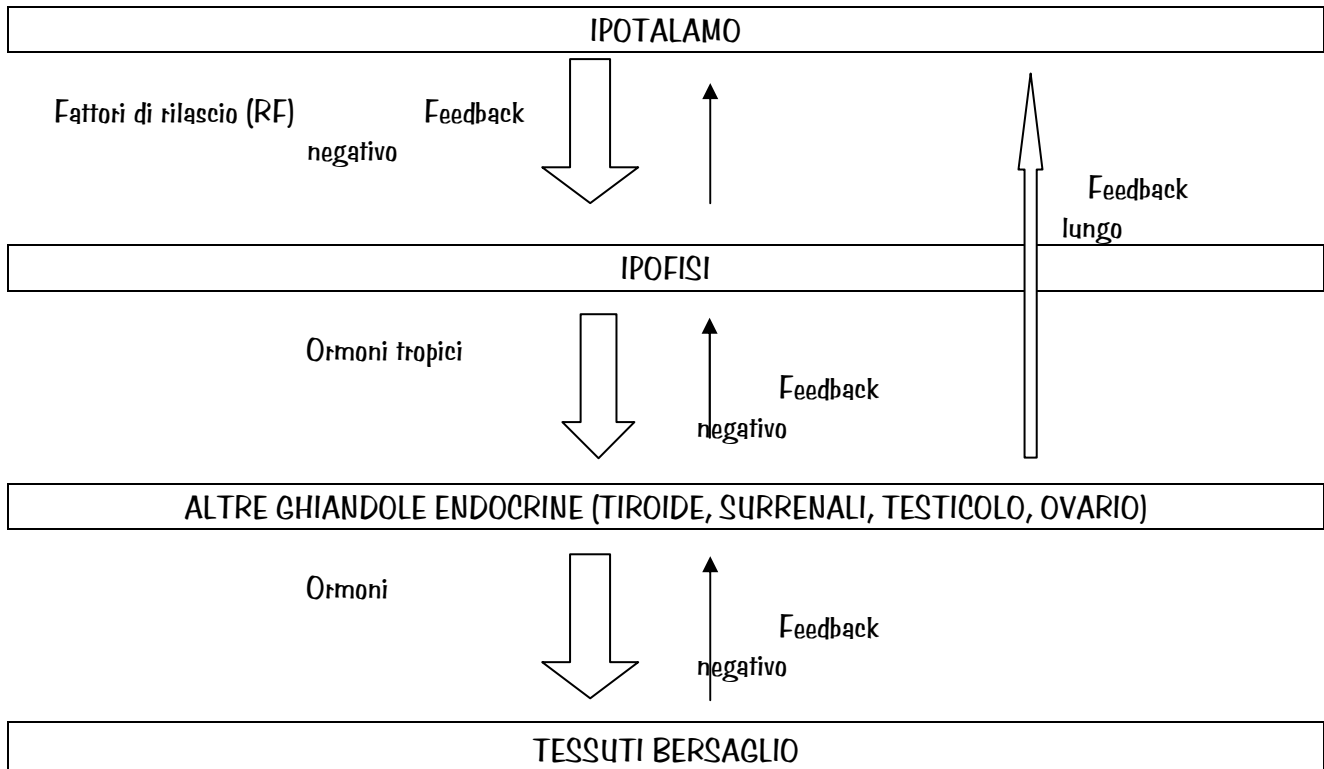
Nell'ambito del sistema endocrino è possibile distinguere una vera e propria gerarchia: al vertice troviamo l'**ipotalamo**, una regione del cervello specializzata nella produzione di **fattori di rilascio (Releasing Factor – RF)** tramite i quali controlla l'attività dell'**ipofisi**. L'ipofisi svolge un ruolo chiave nell'ambito del sistema endocrino:

molti dei suoi ormoni sono, infatti, **ormoni tropici** il cui bersaglio è costituito da altre ghiandole endocrine. Gli ormoni prodotti da quest'ultime agiscono infine sui **tessuti bersaglio**. Come schematizza la Figura 1, un primo livello di feedback si realizza tra l'ipotalamo e l'ipofisi: la secrezione di una determinata tropina ipofisaria determina, infatti, a livello ipotalamico, l'inibizione della secrezione dello specifico RF per quella tropina. Un secondo livello di regolazione si realizza tra l'ipofisi e le ghiandole endocrine da essa stimolate. Un buon esempio è rappresentato dagli estrogeni, una serie di ormoni prodotti nella donna dall'ovaio in risposta all'ormone ipofisario FSH. Anche in questo caso la secrezione di estrogeni determina un rapido calo nella secrezione dell'FSH da parte dell'ipofisi (feedback corto). Sono possibili anche feedback lunghi che si verificano quando un ormone, prodotto in seguito allo stimolo di una determinata tropina ipofisaria, agisce direttamente a livello ipotalamico, inibendo il rilascio del RF per quella tropina. Un terzo livello di regolazione si verifica infine tra le ghiandole endocrine e i tessuti bersaglio. In qualche caso sono presenti anche meccanismi di feedback positivo: un esempio tipico è rappresentato

dalla regolazione della ghiandola mammaria durante l'allattamento, nella quale sono

implicati meccanismi di feedback sia positivo sia negativo.

Figura 1 – Livelli gerarchici nel sistema endocrino



Il sistema endocrino è autoregolato per mezzo di una serie di meccanismi di feedback. Si tratta quasi sempre di feedback negativi nei quali la secrezione di un ormone produce effetti – o direttamente o tramite le cellule bersaglio – che inibiscono un'ulteriore secrezione dell'ormone stesso.

Generalmente quando sull'ipotalamo agisce l'ormone periferico si parla di feedback lungo; quando sull'ipotalamo agisce l'ormone ipofisario si parla di feedback corto

L'evoluzione della complessità

Ma come si sono originate le complesse reti di meccanismi di regolazione che caratterizzano gli organismi? La risposta a questa domanda è nella loro storia: ripercorrendo infatti la storia evolutiva degli organismi più semplici (monere, protisti e funghi), degli animali e dei vegetali è evidente il progressivo emergere nel corso dell'evoluzione di strutture via via più complesse e sempre più fornite di reti di meccanismi di regolazione.

La sequenza con cui tali strutture sono state selezionate nel corso dell'evoluzione

animale può essere ripercorsa mediante il seguente gioco

Il gioco degli animali¹

Il filo conduttore di questo gioco è il progressivo aumento di **complessità** che si verifica durante l'evoluzione del regno animale passando dal **livello cellulare** (poriferi) a quelli **tessutale** (celenterati), degli

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 guida contiene anche un secondo gioco che ricostruisce le tappe dell'evoluzione vegetale.

organi (platelminti) e dei **sistemi di organi** (nematodi, anellidi, molluschi, artropodi, echinodermi e cordati). Gli **adattamenti** che di volta in volta hanno consentito ai diversi gruppi di animali di conquistare nuove nicchie e che evidenziano un progressivo incremento della complessità sono illustrati nella Tavola V. La loro conoscenza costituisce un prerequisito per poter effettuare il gioco.

Il gioco è molto semplice: vengono preparati 20 cartellini con i nomi degli animali indicati nell'elenco (Tavola VI). A due gruppi di alunni vengono distribuiti 10 cartellini ciascuno. Ogni animale va posizionato sul corrispondente livello di organizzazione (il tabellone del gioco è indicato nella Figura 2 a pagina 7). Vince la squadra che totalizza più punti.

Tavola V – Alcuni adattamenti comparsi nel corso dell'evoluzione animale

La comparsa dei **tessuti** (celenterati)
 Il differenziamento del **mesoderma** (platelminti)
 L'acquisizione della **simmetria bilaterale** (platelminti)
 Lo sviluppo di un **apparato digerente a senso unico** (nemertini)
 L'evoluzione prima di uno **pseudoceloma** (nematodi) e poi di un vero e proprio **celoma** (anellidi)
 Lo sviluppo della **metameria** (anellidi e artropodi)
 L'evoluzione di una larva di tipo **trocofora** (anellidi e molluschi)
 La comparsa della **corda dorsale** (cordati)
 l'evoluzione della **cerniera boccale**, costituita da mascella e mandibola articolate (placodermi)
 l'**ossificazione della corda dorsale** (osteitti)
 la comparsa dei **polmoni** (dipnoi, anfibi)
 la comparsa degli **arti** (anfibi)
 Lo sviluppo dell'**amnios** (rettili)
 L'evoluzione dell'**omeotermia** (uccelli e mammiferi)

La comparsa delle **ghiandole mammarie** (mammiferi)

Tavola VI – Elenco dei cartellini degli animali

Animale	Classificazione
Spugna	Poriferi
Medusa	Celenterati
Cinto di Venere	Ctenofori
Planaria	Platelminti
Nemertino	Rincoceli
Nematode	Nematodi
Lombrico	Anellidi
Chiocciola	Molluschi
Gambero	Crostacei (Artropodi)
Ape	Insetti (Artropodi)
Stella di mare	Echinodermi
Ascidia	Urocordati
Anfiosso	Cefalocordati
Lampreda	Agnati
Squalo	Condritti
Tonno	Osteitti
Rana	Anfibi
Tartaruga	Rettili
Colombo	Uccelli
Leone	Mammiferi

Bibliografia

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.

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.

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

Articolo pubblicato sul numero 219 di Didattica delle Scienze
(aprile 2002)

Citare come:

Boccardi, V., **“Gli esseri viventi: un percorso sulla
complessità/2”**, Didattica Delle Scienze, 19-23, 218, La Scuola,
aprile **2002**.

Figura 2 - Il Tabellone del gioco

