

i quaderni
della DIDATTICA

Metodi e strumenti per l'insegnamento e l'apprendimento della **biologia**

- La biologia nel mondo della scuola e della società
- Metodologie didattiche, nuove tecnologie e didattica inclusiva
- Evoluzione, ecologia e biodiversità
- Schede e attività pratiche

E. Padoa-Schioppa
Prefazione di Telmo Pievani

II Edizione

COMPRENDE
ESTENSIONI
ONLINE



Accedi ai servizi riservati



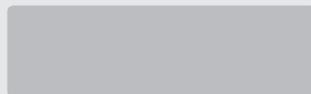
COLLEGATI AL SITO
EDISES.IT

ACCEDI AL
MATERIALE DIDATTICO

SEGUI LE
ISTRUZIONI

Utilizza il codice personale contenuto nel riquadro per registrarti al sito **edises.it** e accedere ai **servizi e contenuti riservati**.

Scopri il tuo **codice personale** grattando delicatamente la superficie



Il volume NON può essere venduto, né restituito, se il codice personale risulta visibile.

L'**accesso ai servizi riservati** ha la durata di **un anno** dall'attivazione del codice e viene garantito esclusivamente sulle edizioni in corso.

Per attivare i **servizi riservati**, collegati al sito **edises.it** e segui queste semplici istruzioni

Se sei registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- inserisci email e password
- inserisci le ultime 4 cifre del codice ISBN, riportato in basso a destra sul retro di copertina
- inserisci il tuo **codice personale** per essere reindirizzato automaticamente all'area riservata

Se non sei già registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- registrati al sito o autenticati tramite facebook
- attendi l'email di conferma per perfezionare la registrazione
- torna sul sito **edises.it** e segui la procedura già descritta per *utenti registrati*



I Quaderni della Didattica

METODI E STRUMENTI PER L'INSEGNAMENTO E L'APPRENDIMENTO DELLA BIOLOGIA

E. Padoa – Schioppa



I quaderni della didattica – Metodi e strumenti per l'insegnamento
e l'apprendimento della biologia – II edizione – Ottobre 2018
Copyright © 2018, 2015 EdiSES S.r.l. – Napoli

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
2022 2021 2020 2019 2018

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata

*A norma di legge è vietata la riproduzione, anche parziale,
del presente volume o di parte di esso con qualsiasi mezzo.*

L'Editore

Emilio Padoa-Schioppa, per i Capitoli 1-9 e Capitolo 11, parr. 11.1-11.2

Con la collaborazione di:

Federica Marcolini e **Gentile Francesco Ficotola**, per il Capitolo 10

Simone Masin, per il Capitolo 11, Schede 1-3

Francesca Bertolotto, per il Capitolo 11, Schede 4-7

Marta Chincarini, per il Capitolo 11, Schede 8 e 9

Prefazione di: **Telmo Pievani**

Grafica di copertina, progetto grafico e fotocomposizione:  **curvilinee**

Stampato presso: Vulcanica s.r.l. – Nola (NA)

per conto della EdiSES – Piazza Dante, 89 – Napoli

ISBN 978 88 3319 021 1

www.edises.it
info@edises.it

渌水曲
渌水明秋月，
南湖采白苹。
荷花娇欲语，
愁杀荡舟人。

Canto del lago

Lucide acque profonde; luna d'autunno.

Sul lago del Sud si colgono bianche ninfee.

I fiori a festuca flessibili pare che vogliono dirci qualcosa:

Ahimé che li uccide la nostra barchetta oscillante.

LI PO

La traduzione della poesia di Li Po è presente nel testo *Liriche cinesi* (a cura di Giorgia Valesin, Einaudi, 16a edizione del 1981). I caratteri cinesi sono stati forniti dalla dottoressa Silvia Pozzi, dell'Università di Milano-Bicocca.





PREFAZIONE

L'accurato e aggiornato lavoro di Emilio Padoa-Schioppa giunge quanto mai opportuno e tempestivo nel panorama editoriale italiano, per una ragione principale connessa a un paradosso dell'insegnamento e dell'apprendimento delle scienze della vita. Da un lato, sappiamo dalle scienze cognitive più avanzate che la mente umana è influenzata da vincoli cognitivi profondi – prodotti essi stessi dalla nostra evoluzione! – che rendono la spiegazione evoluzionistica contro-intuitiva, cioè in contrasto con il senso comune e con le intuizioni immediate di studenti e docenti. La tendenza spontanea all'animismo, la preferenza per interpretazioni intenzionali del mondo esterno (basate su scopi, significati occulti, progetti), la forte predisposizione per narrazioni e ricostruzioni storiche di tipo teleologico sono attitudini cognitive umane rivelatesi utili in epoche passate dell'evoluzione sociale di *Homo sapiens*, ma oggi in contrasto con le spiegazioni scientifiche basate sulla probabilità, su meccanismi demografici di tipo popolazionale, su reti di relazioni che producono scenari sempre diversi e imprevedibili.

Lo stesso Darwin, nelle diverse edizioni dell'*Origine delle specie*, sembra rendersene conto e in alcuni frangenti mostra un certo pessimismo sulla possibilità che la sua rivoluzione scientifica possa essere recepita (e insegnata) facilmente e rapidamente. In una lettera a Thomas H. Huxley confessa il suo timore che la spiegazione evoluzionistica possa essere accolta soltanto dopo molte generazioni, perché troppo forte è il potere del "fraitendimento intenzionale", del non volersi arrendere all'evidenza di un'evoluzione priva di direzioni e di progetti più o meno intelligenti. Non aveva torto, visto che un secolo e mezzo dopo siamo ancora alle prese con un diffuso sentimento anti-darwiniano, che a volte prende le forme esplicite del neocreazionismo biblico nordamericano e altre volte le forme mascherate di "dissidenza" anti-darwiniana, come spiega bene Padoa-Schioppa in un passaggio del volume.

Dall'altro lato tuttavia, e qui si incentra il paradosso, evidenze scientifiche altrettanto corroborate attestano che un'educazione scientifica avanzata e coinvolgente, purché precoce (scuola secondaria di primo grado, scuola primaria e persino dell'infanzia), può dare risultati straordinari di apprendimento, incidendo in modo significativo sul modo più consapevole e maturo con cui gli studenti delle classi successive e gli adulti affronteranno i temi evoluzionistici, ecologici e più in generale scientifici. Questa evidenza smentisce la teoria assurda secondo cui solo ragazzi di una certa età, magari dopo la scuola dell'obbligo, possano imparare l'evoluzione e l'ecologia.

Il dato sugli effetti dirimenti di un'educazione scientifica precoce mostra anche un altro aspetto della psicologia umana nelle fasi di sviluppo: quei vincoli cognitivi profondi che rendono la spiegazione darwiniana difficile e contro-intuitiva non sono invincibili, non sono incisi per sempre nella materia grigia del nostro cervello. Fanno sentire la loro presenza se non c'è un contesto culturale favorevole alla scienza, ma possono al contrario essere controbilanciati e resi innocui attraverso l'esperienza e l'apprendimento in situazioni partecipative e interattive come quelle descritte e proposte in questo libro. Il pregio del lavoro di Padoa-Schioppa è che parte proprio dalla consapevolezza che in materia di educazione scientifica abbiamo una cattiva notizia e una buona notizia allo stesso tempo. Abbiamo idee e storie bellissime da raccontare, ma anche trappole da evitare (qui meti-

colosamente segnalate ai docenti). Dobbiamo quindi prenderci cura dell'insegnamento della biologia fin dai primissimi anni del percorso di formazione dei nostri cuccioli di *Homo sapiens*.

Ma non è questa l'unica novità di rilievo del libro. Raramente in letteratura si trova una consapevolezza epistemologica come quella mostrata nelle pagine che seguono: l'unicità metodologica della biologia, la sua mancanza di "leggi universali", il suo ricorso a *pattern*, a regolarità e a schemi esplicativi, la delicatezza nel maneggiare una materia impregnata di storicità – che richiede quindi l'indagine indiziaria di cause prossime e cause remote – l'attenzione al linguaggio (che cos'è, davvero, una specie? che cos'è un gene? che cos'è il paesaggio?) sono tutti temi qui delineati in modo esemplare in chiave di didattica. Questo è un libro di educazione ambientale scritto da uno dei nostri migliori esperti di ecologia e di biodiversità, ma è anche un libro di filosofia dell'ecologia, inquadrato nel percorso pedagogico più aggiornato a livello internazionale, che conduce dall'evoluzione alla biodiversità, e da questa al clima e alle sfide ambientali.

L'impostazione interdisciplinare, in tal modo, smette di essere una giustapposizione posticcia di linguaggi e diventa un'esigenza intrinseca dell'insegnamento e dell'apprendimento di una materia multiforme che abbraccia necessariamente la biologia evuzionistica, la conservazione, la biogeografia, l'ecologia, la scienza del clima. Qui apprezziamo come la biologia evuzionistica sia una scienza ecologica e come l'ecologia sia una scienza evuzionistica. Capiamo che la scienza non va insegnata solo per i suoi pur fondamentali prodotti (teorie, concetti, principi, innovazioni), ma anche e soprattutto per i suoi processi, cioè le affascinanti dinamiche della scoperta. Sullo sfondo di questa impresa educativa ancora tutta da esplorare, non si può che concordare sulla denuncia del pregiudizio retrogrado, ancora presente purtroppo nella comunità scientifica, secondo cui la comunicazione e la didattica delle scienze sarebbero attività marginali, buone per scienziati sulla via della pensione. Per fortuna si affacciano nuove generazioni di ricercatori italiani di grande talento che amano anche comunicare e confrontarsi, e per fortuna le istituzioni internazionali sollecitano sempre più il rafforzamento dei legami fra ricerca avanzata, comunicazione della scienza e didattica interattiva e partecipativa, di cui troviamo molti esempi concreti nel libro.

Con grande chiarezza e con rigore argomentativo, Emilio Padoa-Schioppa ci regala pure un catalogo implicito di eccellenze italiane: laboratori didattici, giochi interattivi, installazioni, esperienze, nel quadro di un paese strabico come il nostro che finanzia pochissimo la ricerca scientifica ma, al contempo, ha una società civile fra le più appassionatamente interessate alla scienza (come dimostra il successo inusitato dei festival della scienza e delle mostre scientifiche in Italia). In attesa che le nostre classi politiche si accorgano di questa amnesia verso un patrimonio immateriale preziosissimo che stanno facendo di tutto per sprecare, rivolgiamoci ai più piccoli e ai loro insegnanti come fa l'autore di quest'opera, dialoghiamo con loro, costruiamo con loro nuovi luoghi di condivisione della scienza, nella speranza che i cittadini del futuro diventino a loro volta un'opinione pubblica informata, competente e agguerrita nel difendere il valore culturale della scienza. È un dovere di democrazia della conoscenza al quale Emilio Padoa-Schioppa non si sottrae, e per il quale dobbiamo essergli grati.

Telmo Pievani
Dipartimento di Biologia
Università degli Studi di Padova

INDICE

Introduzione.....	1
-------------------	---

CAPITOLO 1 | Scienza e società

1.1 • Perché la scienza fa paura?.....	7
1.2 • Alcune buone notizie.....	9
1.3 • Comunicazione nella scienza e nella società.....	12

CAPITOLO 2 | Biologia nel mondo della scuola

2.1 • Indicazioni per il curriculum 2012.....	21
2.2 • Le indicazioni relative alla biologia.....	21
2.2.1 • Scuola dell'infanzia.....	22
2.2.2 • Scuola primaria e secondaria di primo grado.....	25
2.3 • I cambiamenti nell'insegnamento dell'evoluzione in Italia.....	34
2.4 • Le indicazioni curriculari in altri Paesi.....	39

CAPITOLO 3 | Metodologie didattiche nella biologia

3.1 • Quale modello didattico per le scienze?.....	41
3.2 • Metodologie didattiche.....	44
3.2.1 • La lezione.....	44
3.2.2 • Discussione in classe.....	46
3.2.3 • Brainstorming.....	46
3.2.4 • Lavoro di gruppo.....	47
3.2.5 • Lavoro di ricerca.....	47
3.2.6 • Didattica attraverso i progetti.....	47
3.2.7 • Simulazioni, role-play e drammatizzazione.....	48
3.3 • Didattica e laboratorio.....	49
3.4 • Le nuove tecnologie.....	51
3.5 • Conclusioni.....	53

CAPITOLO 4 | Che cos'è la vita?

4.1 • Una definizione non scontata.....	55
4.1.1 • Inizio e fine.....	56
4.1.2 • Metabolismo.....	57
4.1.3 • Riproduzione di se stessi.....	57
4.1.4 • Evoluzione.....	57



4.2 • Cellule	57
4.3 • Sistemi gerarchici: lo spettro biologico	58
4.4 • Specie e tassonomia	60
4.5 • E se...? Riflessioni sulle frontiere della biologia sintetica	62
4.6 • Spunti didattici	64
4.6.1 • Di quante cellule siamo fatti?	64
4.6.2 • Cosa vediamo per davvero quando guardiamo dentro al microscopio?	65
4.6.3 • Uovo, questo sconosciuto	65
4.6.4 • Costruiamo un cladogramma!	66
4.6.5 • Familiarizziamo con il linguaggio del codice genetico	67

CAPITOLO 5 | Il concetto di razza e la specie umana

5.1 • Il contesto odierno	69
5.2 • Sulla non esistenza delle razze umane	73

CAPITOLO 6 | Evoluzione e selezione naturale

6.1 • La centralità dell'evoluzione	83
6.2 • Il pensiero evoluzionistico in pillole	84
6.2.1 • Evoluzione e selezione naturale prima di Darwin	84
6.2.2 • Il pensiero di Darwin	86
6.2.3 • Il pensiero evoluzionistico dopo Darwin	90
6.3 • Evoluzione dell'uomo	93
6.4 • Didattica dell'evoluzione	100
6.4.1 • Trappole nel percorso	100
6.4.2 • Letture e testi per divulgare l'evoluzione	103
6.4.3 • Evoluzione e gioco	105
6.4.4 • Musei e istituzioni di ricerca	109
6.4.5 • Risorse su internet	110
6.5 • Anti-evoluzionismo: strategie e mezzi di difesa per gli insegnanti	121
6.5.1 • L'anti-evoluzionismo classico	122
6.5.2 • Intelligent Design	122
6.5.3 • Anti-evoluzionismo parascientifico	125
6.5.4 • Come difendersi	126

CAPITOLO 7 | Ecologia ed educazione ambientale

7.1 • Ecologia e Antropocene: due neologismi per il XXI secolo	129
7.1.1 • Ecologia	129
7.1.2 • Antropocene	132
7.1.3 • Una storia nuova, una disciplina giovane per sfide assolutamente inedite	134
7.2 • Sorprese ambientali	135
7.3 • Educazione ambientale	137
7.4 • Didattica dell'ecologia e relazioni tra organismi	141

CAPITOLO 8 | Biodiversità

8.1 • Il significato della parola.....	145
8.1.1 • Diversità specifica.....	145
8.1.2 • Diversità genetica.....	147
8.1.3 • Diversità di ecosistemi e di habitat.....	147
8.1.4 • Diversità di paesaggi.....	148
8.1.5 • Diversità culturale.....	148
8.1.6 • I differenti livelli di varietà biologica si influenzano reciprocamente.....	150
8.2 • Biodiversità in pericolo.....	151
8.2.1 • Le estinzioni di massa del passato.....	151
8.2.2 • La crisi attuale.....	153
8.2.3 • Distruzione degli habitat.....	155
8.2.4 • Specie invasive.....	156
8.2.5 • Inquinamento.....	156
8.2.6 • Eccesso di caccia e raccolta.....	157
8.2.7 • Popolazione.....	158
8.3 • Un problema complesso, nel male e nel bene.....	159
8.4 • Spunti didattici relativi alla biodiversità.....	162

CAPITOLO 9 | Il riscaldamento globale

9.1 • I termini del problema.....	165
9.2 • Il fronte negazionista.....	170
9.3 • Strategie didattiche.....	174

CAPITOLO 10 | Insegnamento della biologia e didattica inclusiva

10.1 • Perché la didattica della biologia è uno strumento utile per gli alunni disabili.....	177
10.2 • Identificare le attività più appropriate.....	179
10.3 • Esempi di attività didattiche.....	179
10.3.1 • Anatomia e fisiologia: dal tulipano al corpo umano.....	179
10.3.2 • Percorso sensoriale: conoscere elementi della natura attraverso i sensi.....	182

CAPITOLO 11 | Schede e attività pratiche

11.1 • Introduzione e uso di queste schede.....	185
11.2 • Scheda tipo: come leggerla e interpretarla.....	186

Scheda 1 • Una classe di... lumache. Allestimento di un terrario per l'osservazione di molluschi gasteropodi.....	187
Scheda 2 • Alleviamo i lombrichi. Allestimento di un terrario per l'osservazione di lombrichi in classe.....	191

Scheda 3 • Da bruco a farfalla! Allevamento di due specie di lepidotteri in classe: la cavolaia maggiore e il borbice del gelso.....	196
Scheda 4 • Il DNA della frutta.....	203
Scheda 5 • Memory cellulare.....	206
Scheda 6 • Coloranti naturali.....	208
Scheda 7 • Animale o vegetale?.....	210
Scheda 8 • Alla scoperta... del mio territorio.....	213
Scheda 9 • La biodiversità vegetale... nella mia scuola.....	216
Bibliografia	219

CAPITOLO 4

Che cos'è la vita?

In questo capitolo vorrei discutere innanzitutto di alcuni aspetti di base della biologia. Il primo riguarda proprio la definizione di “vita”, che, come vedremo, è meno ovvia di quel che si possa pensare. Allo stesso modo, anche la definizione di “specie” non è così scontata o inequivocabile.

Cercare di definire che cos'è la vita ha contribuito a far sviluppare una nuova linea di ricerca in biologia, la cosiddetta biologia sintetica (Venter, 2013). Ne parlo in questo contesto per mostrare come alcuni aspetti della biologia siano oggi tra le ricerche di punta che potranno aprire scenari impensabili ancora pochi anni fa, nei quali poi scienza, etica e società dovranno discutere e trovare un punto di incontro.

■ 4.1 • Una definizione non scontata

La parola “biologia” deriva dall'unione di due vocaboli greci, *bios* e *logos*, e letteralmente significherebbe “discorso (λόγος) sulla vita (βίος)”. Dunque, la prima riflessione che dobbiamo compiere è metterci d'accordo e definire che cosa ci permette di classificare un'entità come vivente; vedremo a breve che è una cosa più complessa di quanto non appaia a prima vista.

Nel 2008 il fisico Paul Davies descrive in un articolo (Davies, 2008) un'ipotesi di ricerca sull'origine della vita. Interrogandosi se la vita si sia originata una sola volta o più volte (e quindi se nell'universo vi siano altri pianeti con forme di vita), egli arriva a ipotizzare l'esistenza di forme di vita “alternativa” basate su una biochimica differente rispetto a quella conosciuta, e descrive diversi esperimenti che sono stati sviluppati per cercare di individuare queste possibili entità: dall'immaginare e analizzare forme di vita caratteristiche degli ambienti estremi (ma tutte quelle scoperte e studiate fino ad ora hanno le stesse basi biochimiche comuni agli altri organismi), a ipotizzare una biochimica basata sul silicio (al posto del carbonio) e sull'arsenico al posto del fosforo. In effetti sono stati trovati alcuni batteri che utilizzano l'arsenico al posto del fosforo (Erb *et al.*, 2012), ma per ora non sono emerse vere visioni alternative.

Corbellini (2013) ricorda che esistono circa cento definizioni diverse di vita. I libri di biologia, in alcuni casi, addirittura soprassedono sulla definizione di vita: che cosa ci permette di definire un'entità come vivente o non vivente?

Il biologo Ernst Mayr (2004) definisce un organismo vivente come un'“entità soggetta alle leggi naturali che controllano il resto del mondo fisico, ma tutti gli organismi viventi sono anche controllati dai programmi genetici”. Secondo l'autore sarebbe dunque l'assenza o la presenza di programmi genetici a definire il confine netto tra entità viventi e non viventi.

Secondo il biologo molecolare Edoardo Boncinelli (2001) è più facile individuare alcune caratteristiche comuni agli organismi viventi, e quindi attribuisce a tutti gli organismi viventi:

1. un inizio e una fine;
2. un metabolismo;
3. la capacità di produrre da soli o in coppia delle copie più o meno uguali di se stessi;
4. la possibilità di modificarsi, nell'arco di diverse generazioni.

A queste proprietà, che comunque lasciano fuori alcune entità interessanti da un punto di vista biologico (i virus e i prioni, per esempio), potremmo poi aggiungere il fatto che tutti gli organismi utilizzano lo stesso tipo di molecole (DNA, RNA e amminoacidi), al punto tale che il DNA viene definito come il codice universale della vita. E con questa ultima osservazione viene ripreso in pieno il discorso di Mayr.

Accettiamo dunque la definizione di Boncinelli, tenendo presenti le indicazioni di Mayr sulla presenza di programmi genetici, e l'organizzazione in cellule (anche se ci sono entità, che per certi aspetti sono viventi, i virus o i prioni, i quali però non sono organizzati in cellule).

4.1.1 • Inizio e fine

Avere un inizio e una fine vuol dire che un organismo vivente è un'entità limitata nel tempo. L'aspetto curioso è che non sempre riusciamo a tracciare un limite netto per individuare l'inizio di una vita o la sua fine. Vi porto l'esempio umano, perché è uno dei temi che più appassiona e divide la società. Quando comincia una nuova vita? Siamo tutti d'accordo sul fatto che prima dell'unione di un gamete femminile (uovo) e di uno maschile (spermatozoo) non abbiamo una nuova vita. Quando i gameti femminile e maschile si incontrano si forma una nuova cellula, detta zigote, che è senza dubbio la prima cellula dalla quale per divisioni successive si forma l'embrione e poi il nuovo individuo. Lo zigote non è un'entità autonoma: se non si impiantasse nell'utero femminile non avrebbe alcuna possibilità di svilupparsi (e numerosi sono gli zigoti che subiscono questo destino, senza che la donna se ne renda conto). E anche una volta impiantato vi sono numerose fasi prima di avere una parvenza di autonomia (formazione degli organi vitali, ecc.). Però, d'altro canto, se considerassimo come criterio assoluto l'autonomia, quando potremmo considerare un individuo autonomo?

La stessa cosa si osserva con la morte. Il confine non è netto, chiaro e indiscutibile. Nelle pratiche cliniche e mediche indichiamo delle soglie, le quali in verità hanno un margine di arbitrarietà spesso problematico, e i progressi clinici e medici aumentano i casi di dubbio. Oggi possiamo mantenere in funzione corpi che cento anni fa avrebbero superato velocemente questa zona grigia per arrivare allo stadio di morte. Non necessariamente la biologia è in grado di dare una risposta definitiva a queste domande, e senza dubbio l'etica personale aiuta ogni uomo o donna a trovare una risposta (per alcune donne uno zigote è al 100% una vita in divenire, altre lo considereranno tale solo dopo che si è impiantato nell'utero, altre ancora solo quando si saranno formati alcuni organi), che potrà essere diversa per ciascuno. Ecco dunque un punto dove biologia ed etica si incrociano.

4.1.2 • Metabolismo

Per metabolismo si intende l'insieme delle attività chimiche all'interno dell'organismo. Tali reazioni e trasformazioni chimiche possono servire per la crescita, la riproduzione, la riparazione cellulare. Boncinelli (2001) parla di metabolismo ordinario e straordinario: il primo riguarda il fatto che, nel corso della propria vita, un organismo modifica e cambia le sue cellule. Chi mi vede adesso e mi rincontrerà tra dieci anni troverà la stessa persona, ma le mie cellule saranno quasi tutte diverse da quelle attuali; la sostituzione delle cellule potrebbe essere intesa come il metabolismo ordinario. Vi è poi un'attività straordinaria di metabolismo, quando si rimargina una ferita o si salda un osso. Per questa continua sostituzione di cellule e attività di mantenimento dell'ordine interno di un organismo è necessario ricevere energia.

4.1.3 • Riproduzione di se stessi

Gli organismi viventi sono in grado di produrre delle copie più o meno uguali di se stessi, attraverso un meccanismo di riproduzione asessuata oppure attraverso la riproduzione sessuata.

Nella riproduzione asessuata un organismo, raggiunta una certa dimensione, si divide dopo aver fatto una copia del proprio materiale ereditario. Ci possono essere piccole variazioni dovute alle mutazioni, altrimenti il nuovo individuo è identico a quello di partenza, a parte le dimensioni.

La riproduzione sessuata avviene con la produzione da parte di un individuo di cellule specializzate (uova e cellule spermatiche) che poi si fondono a formare l'uovo fecondato, dal quale si svilupperà poi il nuovo organismo. Questo organismo porterà in sé una parte dei geni provenienti dal padre e una parte di quelli provenienti dalla madre. Il processo di riproduzione sessuata favorisce la variabilità genetica che è alla base dei processi evolutivi.

4.1.4 • Evoluzione

“In biologia niente ha senso se non alla luce dell'evoluzione” (Dobzhansky, 1973). L'evoluzione è uno dei principali punti chiave della biologia, ed è mia intenzione dedicare un ampio spazio a questo argomento, in quanto è alla base di qualunque ragionamento ed esperimento della biologia. Nel capitolo 6 descriverò che cosa si intende per evoluzione; qui possiamo dire semplicemente che le popolazioni cambiano nel tempo. Si modificano le frequenze dei geni (e di conseguenza l'aspetto esterno, quello che i biologi chiamano fenotipo) all'interno della popolazione. Vedremo come gli studi evolutivisti hanno modificato il quadro raccontato da Darwin più di 150 anni fa, confermando buona parte delle sue intuizioni e modificando alcuni aspetti della sua teoria.

4.2 • Cellule

La cellula è il livello fondamentale di organizzazione della vita; secondo alcuni è addirittura la condizione necessaria perché un'entità sia classificata come vivente.

Vi sono organismi formati da una sola cellula e organismi formati da più cellule. E le cellule si dividono in due macrocategorie definite procariote o eucariote (*kariion* è il termine greco con cui si indica il nucleo). Cellule procariote sono quelle prive di nucleo (e di altri organuli membranosi), mentre quelle eucariote presentano un nucleo e organuli dotati di membrana.

Quello che tutte le cellule hanno in comune è di avere una membrana, costituita da proteine e fosfolipidi, che separa l'interno dall'esterno della cellula, e di contenere al suo interno altre macromolecole particolari, il DNA e l'RNA, in grado di replicarsi e alla base della sintesi delle proteine¹.

Negli organismi animali pluricellulari le cellule si specializzano e possono poi organizzarsi in tessuti e poi in organi e apparati. Le cellule si formano solo da altre cellule preesistenti, secondo quanto elaborato dalla teoria cellulare, che individua nelle cellule una delle unità viventi fondamentali per la funzione e l'organizzazione di tutti gli organismi.

■ 4.3 • Sistemi gerarchici: lo spettro biologico

In biologia è possibile osservare una gerarchia precisa (figura 4.1). Ogni livello di organizzazione presenta struttura e funzioni ben coordinate. Nella figura si individuano alcuni livelli (atomo, molecole e macromolecole organiche) che possono essere studiati con mezzi e strumenti propri della chimica. Dalle macromolecole si passa agli organelli cellulari, quindi alle cellule, ai tessuti, agli organi e agli apparati, quindi a organismi, popolazioni, comunità, ecosistemi, fino a giungere alla biosfera. Va rilevato che i livelli superiori di questa gerarchia (dall'individuo in su) possono essere studiati dall'ecologia: come prima per la chimica, esiste anche in questo caso un margine di sovrapposizione tra diverse discipline (per la verità l'ecologia potrebbe essere anche considerata una sottodisciplina della biologia).

Gli organelli cellulari (come il nucleo, i mitocondri e i cloroplasti) sono quelle strutture che svolgono le varie funzioni di una cellula eucariote. I tessuti sono insiemi di cellule associate tra loro, dello stesso tipo, come il tessuto muscolare o quello osseo. Negli organismi complessi i tessuti si associano tra loro a formare gli organi (ad esempio il cuore in un animale o le radici in una pianta) e poi gli apparati.

A un livello superiore, poi, le popolazioni sono insiemi di organismi appartenenti alla stessa specie, che vivono nella stessa area e interagiscono tra loro. Le comunità sono insiemi di popolazioni di specie diverse che vivono nella stessa area e sono legati da interazioni reciproche. Gli ecosistemi possono essere definiti come una comunità e la sua interfaccia abiotica.

La biologia ha lungamente promosso un approccio di lavoro, definito riduzionismo, per cui si cerca di studiare un sistema analizzandone le singole parti che lo compongono. Questo approccio, che presenta molti vantaggi, non può essere

¹ Non è mia intenzione discutere e illustrare in queste pagine la sintesi proteica: un buon libro di biologia sarà in grado di dissipare dubbi e colmare le lacune. Mi preme sottolineare che è importante, comunque, aver chiaro il passaggio con cui dal DNA si arriva alla sintesi delle proteine. Non tanto nei suoi contenuti nozionistici, ma nel modo con cui la sequenza delle basi azotate permette di mettere nel giusto ordine gli amminoacidi che vanno a formare la struttura primaria delle proteine.

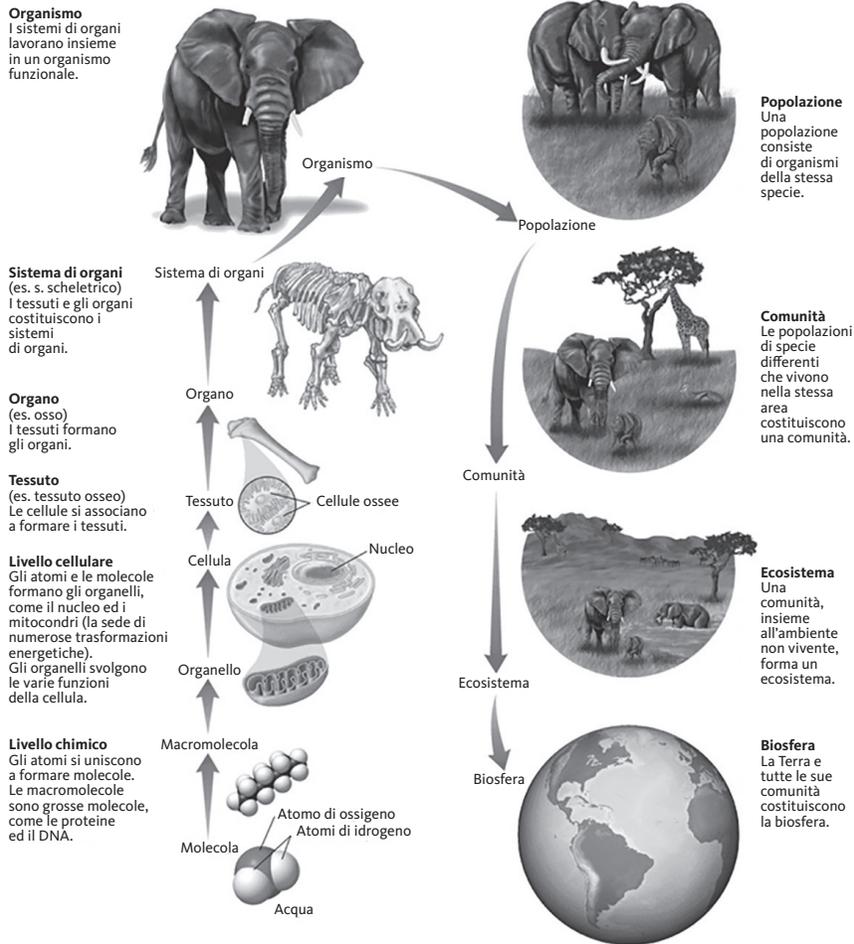


Figura 4.1 Spettro biologico semplificato (da Solomon et al., 2008).

generalizzato: vi è anche la constatazione che il tutto è superiore alla somma delle singole parti. Quando analizziamo una popolazione introduciamo, ad esempio, dei parametri (età media o tassi di natalità e mortalità) che non hanno alcun senso a livello dei singoli individui. Oppure, se studiassimo il funzionamento del fegato, la somma delle proprietà delle cellule epatiche non ci permetterebbe di comprenderne completamente il metabolismo. Lo stesso vale per il cervello: come i neuroni sono collegati tra loro è fondamentale per capire come opera il cervello, e nulla di questo ci viene detto dal singolo neurone. Occorre dunque considerare che, a ogni livello di organizzazione, emergono comportamenti collettivi non deducibili dall'analisi del livello inferiore.

4.4 • Specie e tassonomia

La biologia riguarda dunque organismi viventi. Sulla base di quello che abbiamo visto, gli organismi sono in grado in un modo o nell'altro di formare delle copie di loro stessi, più o meno precise; è proprio su questa capacità di avere una prole che si basa la definizione biologica di specie.

La tassonomia è il settore della biologia che si occupa di dare un nome agli organismi. Da sempre gli uomini hanno sentito questo bisogno, proponendo approcci diversi. Al giorno d'oggi in biologia ci sono modi diversi per classificare gli organismi: si possono prendere in considerazione le caratteristiche fisiche, oppure la possibilità di avere insieme di organismi in grado di riprodursi e dare una prole fertile, o avere classificazioni ancora diverse (si veda la tabella 4.1 per una breva sintesi delle definizioni di specie esistenti).

Concetto	Definizione
Feneticò	Un insieme di organismi simili tra loro sulla base di caratteri anatomici.
Biologico	Il più piccolo gruppo di organismi interfertili tra loro.
Ecologico	Un insieme di organismi adattati a una specifica nicchia ecologica.
Cladistico	L'insieme degli individui compresi tra due ramificazioni successive di un albero filogenetico.

Tabella 4.1 *Definizioni di specie.*

Ogni classificazione presenta vantaggi e svantaggi ed è utilizzata in contesti lavorativi differenti: la definizione biologica utilissima per introdurre il concetto di isolamento riproduttivo (fondamentale per gli studi evolutivisti) non avrebbe alcuna utilità operativa nella paleontologia. La classificazione ecologica semplificata (verrà trattata nel capitolo 7) può essere utile e facile da usare coi bambini e i ragazzi. Occorre poi fare attenzione al fatto che elencare delle caratteristiche (approccio fenetico) potrebbe essere fuorviante: immaginate un animale che deponga le uova, abbia il becco, sia privo di denti ed endotermo. Sono sicuro che molti stanno pensando a un uccello, ma questa definizione ben si adatta anche a un mammifero, l'ornitorinco (e lo mettiamo tra i mammiferi per altre due caratteristiche che ora non ho menzionato: ha le ghiandole mammarie e il corpo è coperto di peli). Tutti i biologi concordano in ogni caso con il modello di classificazione proposto da Linneo, che nella sua opera *Systema Naturae* presenta gli organismi raggruppati in sistemi sempre più ampi, ancora una volta secondo uno schema gerarchico ben preciso. La specie è l'unità di base, specie simili sono raggruppate all'interno di un genere, generi simili all'interno di una famiglia, poi ordine, classe, subphylum, phylum, regno e dominio (figura 4.2).

Oggi il mondo naturale è suddiviso in tre domini e sei regni, secondo quanto descritto nella tabella 4.2; sono state individuate quasi due milioni di specie (si veda il capitolo 8).

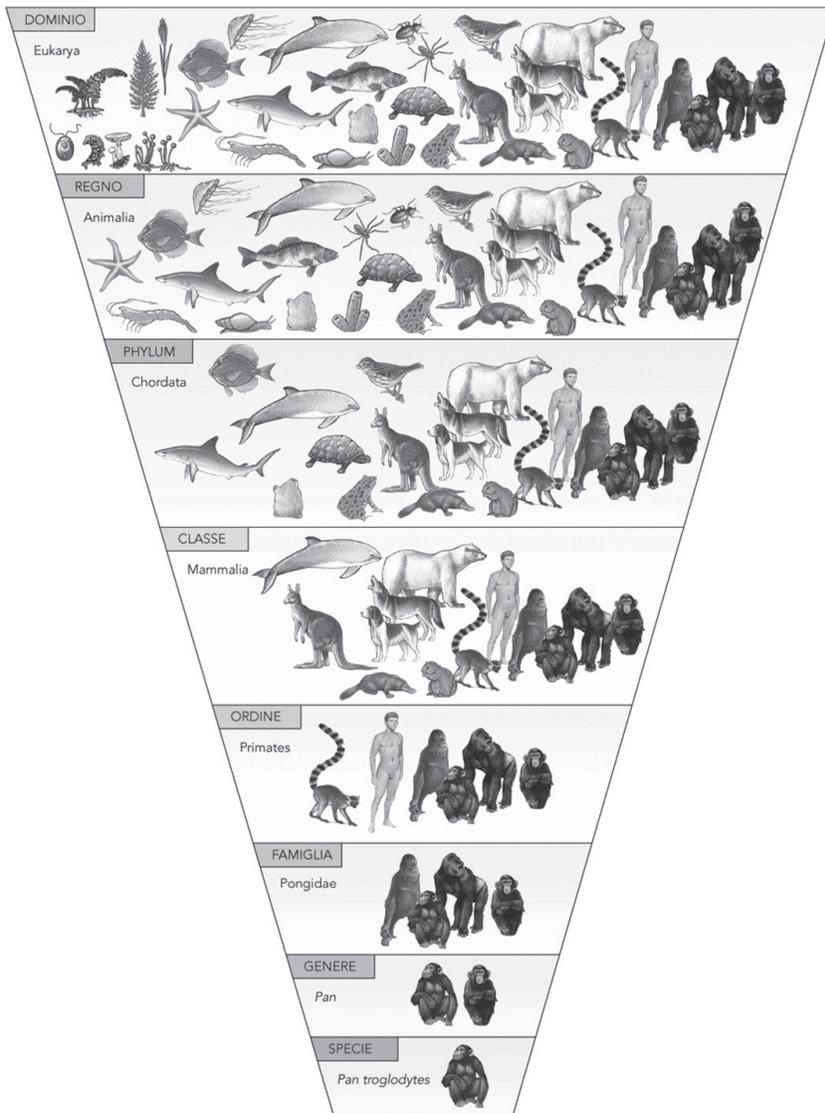


Figura 4.2 Classificazione dello scimpanzé (*Pan troglodytes*) (immagine tratta da Solomon et al., 2008).

Dominio	Regno	Descrizione	Ruolo ecologico
Eubacteria	Eubacteria	Procarioti, unicellulari; pareti cellulari di norma formate da peptidoglicani	Molti sono decompositori, alcuni sono parassiti, alcuni autotrofi chemiosintetici, alcuni fotosintetici, alcuni hanno un ruolo importante nel ciclo dell'azoto
Archaea	Archaeobacteria	Procarioti, unicellulari; differiscono dagli eubatteri per la biochimica delle pareti cellulari	Possono essere organismi chemiosintetici (metano, solfuri...)
Eukarya	Protista	Eucarioti, per lo più unicellulari o semplici pluricellulari	Sono parte rilevante del plancton
Eukarya	Fungi	Eucarioti, eterotrofi, assorbono i nutrienti; non fanno fotosintesi; la loro struttura è composta da ife filamentose che si infiltrano nell'ambiente; parete cellulare costituita da chitina	Decompositori, alcuni sono parassiti (e patogeni); alcuni sono commestibili; i lieviti sono usati per la panificazione e la produzione di bevande alcoliche; alcuni sono usati per preparati chimici industriali o come antibiotici; alcuni sono responsabili di danni all'agricoltura
Eukarya	Plantae	Eucarioti, pluricellulari, fotosintetici, organi riproduttivi pluricellulari, hanno alternanza di generazioni; parete cellulare di cellulosa	La biosfera terrestre dipende dal loro ruolo di produttori primari; sono importanti fonti di ossigeno per l'atmosfera terrestre
Eukarya	Animalia	Eucarioti, pluricellulari, eterotrofi, molti presentano tessuti differenziati e sistemi di organi complessi, la maggior parte si muove tramite contrazione muscolare; tessuto nervoso specializzato coordina le risposte agli stimoli	Consumatori; possono essere erbivori, carnivori o detritivori specializzati

Tabella 4.2 *Suddivisione in domini e regni degli esseri viventi (da Solomon et al., 2008).*

4.5 • E se...? Riflessioni sulle frontiere della biologia sintetica

La biologia è stata in precedenza definita una “scienza di frontiera”. In questo breve paragrafo provo a descrivere alcune delle ricerche più all'avanguardia relative a questa disciplina; mi riferisco alla biologia sintetica, che a mio parere permette di comprendere come si possano introdurre argomenti ad alta temperatura emozionale

(capitolo 1) e allo stesso modo mostrare agli alunni che la biologia è ancora oggi una disciplina nella quale si inseguono grandi domande.

Se attraverso un programma informatico fossimo in grado di fornire le istruzioni per assemblare un organismo artificiale? È la grande sfida cui sta lavorando Craig Venter e il suo gruppo di ricerca. Per chi non lo sapesse, Venter è una delle persone che più ha contribuito a far progredire la biologia negli ultimi trent'anni. È noto al grande pubblico soprattutto per aver sviluppato un criterio che ha accelerato enormemente il sequenziamento del genoma umano, innestando una competizione con il consorzio pubblico, e giungendo alla fine alla presentazione simultanea dei risultati (Venter, 2013).

In seguito ha sviluppato un programma particolarmente ardito, mediante il quale è riuscito a trasformare una specie in un'altra. Quello che è stato fatto è trapiantare da una specie all'altra l'intero genoma come DNA nudo. È stato prelevato il DNA genomico da una colonia di *Mycoplasma mycoides* (un batterio) ed è stato inserito in un altro batterio, *Mycoplasma capricolum*, precedentemente svuotato del suo DNA originario. Queste nuove cellule risultano identiche a quelle di *Mycoplasma mycoides* (Lartigue *et al.*, 2007).

Nel 2010, assieme alla sua équipe, Venter pubblica un articolo (Gibson *et al.*, 2010) nel quale annuncia di aver realizzato la prima forma di vita artificiale: è una cellula naturale completamente controllata da un DNA artificiale, pensato ed elaborato al computer come fosse un programma di assemblaggio. In questo caso dunque il DNA non è prelevato da un altro organismo, ma assemblato nucleotide per nucleotide partendo da una sequenza immagazzinata in un computer.

Secondo Venter sarà possibile avere organismi unicellulari "artificiali" (ossia progettati al computer), assemblando nucleotide per nucleotide le istruzioni per svolgere determinati compiti, quali ad esempio il degrado e la digestione dei rifiuti, o la produzione di idrocarburi, o ancora la lotta contro le malattie infettive. È una strada pionieristica, i ricercatori che la stanno intraprendendo hanno appena mosso i primi passi. Però in questi anni è un campo che si è sviluppato e che, pur raccontato e comunicato con un certo sensazionalismo (si veda il capitolo 1), permette di avvicinarsi ad alcune frontiere della scienza.

È difficile non rimanere allo stesso tempo turbati e affascinati da queste prospettive. Diversi scienziati si sono posti dei problemi circa queste applicazioni (Dana *et al.*, 2012); lo stesso Venter si è reso conto che arrivare a progettare degli organismi (finalizzati a uno scopo ben preciso) è qualcosa che va molto oltre quello che fino ad ora ha fatto l'umanità, e che è necessario avere ben presente fin da ora che questo approccio può essere un'arma a doppio taglio. Ma è stato così per quasi tutte le scoperte della storia dell'uomo.

La visione di Venter è completamente meccanicistica ed ingegneristica (non a caso parla di hardware e software della vita), e per questo motivo diversi biologi la rigettano (ci sono evidenze sperimentali per farlo). Gli insegnanti potrebbero trarre molti spunti di riflessione mettendo in discussione critica l'approccio di Venter per evidenziare rischi e opportunità.



4.6 • Spunti didattici

Dopo aver riflettuto su alcuni degli argomenti più profondi e innovativi della biologia, vorrei passare a esaminare alcuni spunti didattici che possono essere sfruttati dagli insegnanti. Nell'insegnamento della biologia si discute a lungo sull'importanza della chimica (quasi tutti i libri di testo cominciano con alcuni capitoli dedicati alla chimica della vita). A mio parere è necessario per un insegnante essere a conoscenza di alcune cose (capiamo molto meglio la struttura di una proteina se ci rendiamo conto di che cosa è un legame peptidico, e comprendiamo le proprietà della membrana fosfolipidica se capiamo la chimica dei gruppi fosforo e dei lipidi), ma non è indispensabile che tutto questo venga poi trasmesso agli alunni.

Una buona strategia è quella di costruire delle analogie e delle immagini mentali che aiutino a comprendere i concetti più difficili. Per esempio, potete immaginare una proteina come un filo di perline colorate: ogni perlina corrisponde a un amminoacido, e la sequenza degli amminoacidi rappresenta la struttura primaria delle proteine (poi ragionerete su quale è la struttura secondaria, terziaria e così via, o su come si ottiene una determinata sequenza di amminoacidi, ma questa è un'altra storia!).

Come vedremo nel primo esempio che suggerisco, si possono benissimo semplificare e approssimare problemi più complessi, educando i ragazzi a un'“imprecisione formativa”.

4.6.1 • Di quante cellule siamo fatti?

Questo percorso è proposto da Claudio Longo (1998) e aiuta a evidenziare alcune particolarità del modo con cui si può fare scienza con un approccio poco nozionistico e molto interessante.

Di quante cellule siamo fatti? La risposta viene ottenuta immaginando per ipotesi di avere un uomo che sia un cubo di 1 m di lato, e che ogni cellula sia un cubetto di 10 μm . Utilizzando questa doppia approssimazione, è possibile arrivare a una stima complessiva verosimile e ragionevolmente precisa. Non servono calcolatrici e basta avere dimestichezza con le potenze del 10 (opzione che nella scuola secondaria dovrebbe essere alla portata di tutti).

Il primo passaggio è quello di chiedersi quanti cubetti da $10 \times 10 \mu\text{m}$ si trovano in un cubo di 1 m di lato; 1 μm corrisponde a 1/1000 di mm, dunque in un metro lineare si avrà la seguente equivalenza:

$$[(1 \mu\text{m} \times 1000) \times 1000] = 10^6 \mu\text{m} = 1 \text{ m}$$

Ma se la nostra cellula era di 10 μm allora avremo 10^5 cellule lungo un metro lineare, ossia 10^{15} in un metro cubo, ovvero un milione di miliardi di cellule. Naturalmente non esiste una persona cubica (e neppure una cellula cubica), ma questa prima approssimazione ci ha permesso di avvicinarci molto all'ordine di grandezza che ci importa. A questo punto potremmo immaginare che, anziché avere un cubo di 1 m di lato, si abbia un parallelepipedo alto 1 m, largo 40 cm e profondo 30 cm.

$$\text{Volume uomo} = 1 \times 0,4 \times 0,30 = 0,12 \text{ m}^3$$

Dunque se le cellule fossero come le abbiamo ipotizzate, il nostro uomo avrebbe:

$$10^{15} \times 0,12 \cong 10^{14} \text{ cellule}$$

Questo numero significa centomila miliardi o cento milioni di milioni. Ed è stato possibile arrivarci facilmente, senza calcolatrice e senza strumenti particolari. Tra gli spunti che possono essere offerti ai ragazzi vi è quello dell'importanza di saper approssimare, senza per questo scivolare nella superficialità.

4.6.2 • Cosa vediamo per davvero quando guardiamo dentro al microscopio?

Spesso un'attività che viene suggerita, sia per le scuole secondarie che per quelle primarie, è l'osservazione al microscopio delle cellule, magari con l'ausilio di una telecamera collegata al microscopio da una parte e a un proiettore dall'altra. Si tratta naturalmente, qualora si abbiano gli strumenti idonei, di un'attività fantastica ed entusiasmante. Ci sono però alcune precauzioni da considerare.

La prima è che il microscopio ottico non è uno strumento semplicissimo da usare. La messa a fuoco, lo spostare il vetrino per seguire quello che interessa, il passaggio da un ingrandimento all'altro non sono sempre operazioni intuitive. È necessario un investimento di tempo e pazienza iniziale non indifferente, prima che i ragazzi sappiano utilizzare bene lo strumento.

I testi di biologia riportano, quasi sempre, tre immagini per rappresentare la cellula procariote, quella eucariote vegetale e quella eucariote animale. Occorre sempre tener presente che i disegni riportati sui libri rappresentano un modello ipotetico, e non corrispondono a quello che viene osservato realmente al microscopio. Sono diversi perché non si vedrà mai una cellula animale perfettamente tagliata sul piano equatoriale, con tutti gli organelli ben allineati (anche loro perfettamente tagliati), coi colori diversi tra loro.

È dunque necessario sapere tutto questo, e differenziare tra un disegno, che ha lo scopo di sintetizzare tutte le informazioni possibili, e quello che davvero possiamo osservare nella sezione sottile di un vetrino.

4.6.3 • Uovo, questo sconosciuto

Osserviamo un'immagine (figura 4.3) comune nei testi di biologia: rappresenta una serie di entità, dall'atomo all'uomo adulto, e diversi tipi di cellule. Vuole dare un'idea del range di dimensioni delle cellule (che in genere, se eucariote, hanno un diametro variabile tra i 10 e i 30 μm). Vi sono però numerose eccezioni e nell'immagine ne sono riportate alcune: le cellule nervose, le varie cellule uovo (nell'esempio l'uovo umano, quello di rana e quello di gallina). Spesso, però, questo tipo di immagine può risultare fuorviante, infatti quando viene osservata spinge gli studenti più superficiali a utilizzare l'uovo di gallina (o degli altri uccelli) come esempio di cellula. È in genere una strategia perfetta per mettersi in un mare di guai. Si tratta infatti di un caso particolare, non necessariamente particolarmente valido, per descrivere in linea generale una cellula animale. La totalità della massa è composta da tuorlo e albume, che sono riserve di cibo; la parte funzionale della cellula è una piccola massa che si trova sulla superficie del tuorlo, e il guscio non è la membrana



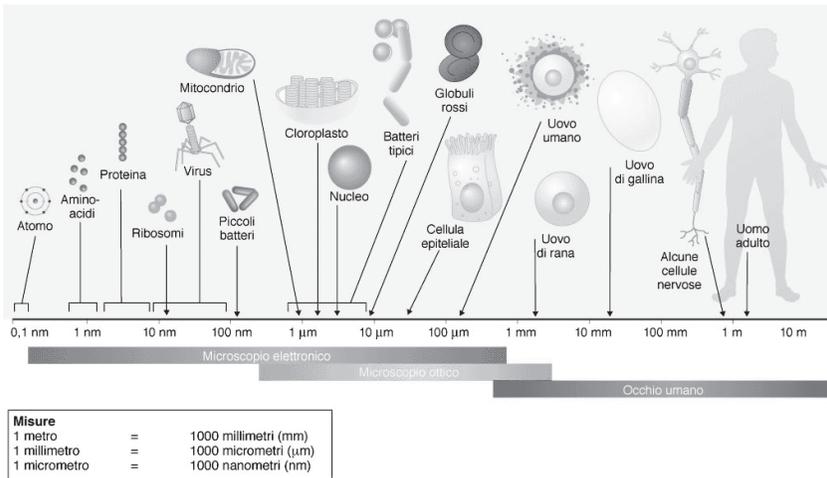


Figura 4.3 Dimensioni biologiche e diversità delle cellule (da Solomon et al., 2008) - Come mostra la figura spesso le uova di gallina e di rana sono utilizzate come esempi di cellule molto grandi (il testo originale parla appunto di cellule uovo). Da notare che la scala delle dimensioni è logaritmica. I disegni non sono in scala.

cellulare! In altre parole, è come pensare che una barca costruita per disputare le regate della Coppa America sia un buon esempio per descrivere tutte le barche. Detto questo, con le uova di gallina che vengono comprate al supermercato (le quali ormai non sono più in alcun modo cellule vitali) si possono sviluppare alcuni piccoli esperimenti interessanti. Il più semplice è quello di evidenziare la vera membrana cellulare, facendo sciogliere il guscio calcareo in una soluzione acida. Una volta fatto questo, si può anche far verificare il fenomeno chimico dell'osmosi (occorre immergerle in acqua distillata e in acqua salata e osservare le differenze).

4.6.4 • Costruiamo un cladogramma!

La biologia utilizza spesso rappresentazioni grafiche per raccontare le proprie storie e scoperte. Nella biologia evuzionistica si è diffuso l'uso di particolari grafici, detti cladogrammi, che permettono di raccontare in modo efficace la storia evolutiva e le relazioni evolutive di un gruppo di organismi.

In un cladogramma ogni punto di divergenza delle linee rappresenta un antenato comune tra gli insiemi di specie che derivano da quel punto; sembra complicato ma non lo è.

Qui riporto un insieme di organismi, e le caratteristiche presenti o assenti. Il criterio da seguire è quello di massima parsimonia, partendo dalle assenze. La prima cosa è quella di individuare la specie che non ha nulla in comune con le altre (l'anfiosso, in questo esempio). E si crea il primo passaggio: anfiosso da una parte, tutti gli altri organismi dall'altra. Man mano che si procede il quadro si semplifica, fino ad arrivare al cladogramma finale. Se ne possono costruire più di uno, scegliendo le caratteristiche e gli organismi da considerare.

	Vertebre	Mandibole	Tetrapodi (4 arti)	Uova con amnios	Ghiandole mammarie	Pollice opponibile	Postura eretta
Anfiosso	A	A	A	A	A	A	A
Lampreda	P	A	A	A	A	A	A
Luccio	P	P	A	A	A	A	A
Salamandra	P	P	P	A	A	A	A
Geco	P	P	P	P	A	A	A
Tigre	P	P	P	P	P	A	A
Scimpanzé	P	P	P	P	P	P	A
Uomo	P	P	P	P	P	P	P

Tabella 4.3 Caratteristiche per costruire il cladogramma.

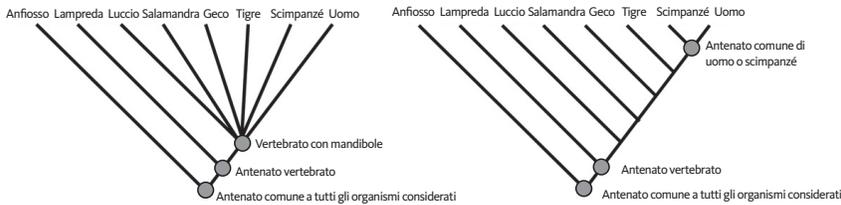


Figura 4.4 Stadi successivi di costruzione del cladogramma sulla base dei dati esposti nella tabella 4.3. A voler aggiungere informazioni si potrebbe anche inserire una linea del tempo e collocare i nodi in corrispondenza del tempo effettivo (in questa immagine invece sono stati inseriti a distanze regolari).

Abituarsi a leggere e costruire grafici è un’ottima ginnastica mentale: una volta che il linguaggio diviene familiare, potrebbe essere complicato utilizzando la linea del tempo (quindi ponendo i nodi secondo una distanza proporzionale al momento in cui è avvenuta l’effettiva separazione).

4.6.5 • Familiarizziamo con il linguaggio del codice genetico

Spesso, quando si nomina il DNA, si afferma che è il depositario delle informazioni genetiche, ma poi raramente viene detto qualche cosa in più.

Cercando di fare ordine in modo semplice, si potrebbe cercare di memorizzare che la sequenza delle basi azotate presente lungo un singolo filamento di DNA permette l’assemblaggio delle proteine indicando quale è la sequenza degli amminoacidi. Come noto, gli amminoacidi sono 20 e le basi azotate sono 4.

Un’attività che si può proporre agli studenti è quella di costruire un codice con le carte di quattro semi diversi (oppure con delle biglie) per sviluppare dei messaggi. Nella tabella si può vedere un possibile codice, ottenuto dalla sequenza di tre semi.



Ci sono 64 combinazioni possibili: c'è dunque la possibilità di inserire maiuscole e minuscole o molti segni e simboli di punteggiatura.

Prima carta	Seconda carta				Terza carta
	♠	♣	♥	♦	
♠	♠♠♠ = A	♠♣♠ = B	♠♥♠ = C	♠♦♠ = D	♠
	♠♠♣ = E	♠♣♣ = F	♠♥♣ = G	♠♦♣ = H	♣
	♠♠♥ = I	♠♣♥ = L	♠♥♥ = M	♠♦♥ = N	♥
	♠♠♦ = O	♠♣♦ = P	♠♥♦ = Q	♠♦♦ = R	♦
♣	♣♠♠ = S	♣♣♠ = T	♣♥♠ = U	♣♦♠ = V	♠
	♣♠♣ = Z	♣♣♣ = a	♣♥♣ = b	♣♦♣ = c	♣
	♣♠♥ = d	♣♣♥ = e	♣♥♥ = f	♣♦♥ = g	♥
	♣♠♦ = h	♣♣♦ = i	♣♥♦ = l	♣♦♦ = m	♦
♥	♥♠♠ = n	♥♣♠ = o	♥♥♠ = p	♥♦♠ = q	♠
	♥♠♣ = r	♥♣♣ = s	♥♥♣ = t	♥♦♣ = u	♣
	♥♠♥ = v	♥♣♥ = z	♥♥♥ = 1	♥♦♥ = 2	♥
	♥♠♦ = 3	♥♣♦ = 4	♥♥♦ = 5	♥♦♦ = 6	♦
♦	♦♠♠ = 7	♦♣♠ = 8	♦♥♠ = 9	♦♦♠ = 0	♠
	♦♠♣ = @	♦♣♣ = .	♦♥♣ = ;	♦♦♣ = ,	♣
	♦♠♥ = !	♦♣♥ = ?	♦♥♥ = (♦♦♥ =)	♥
	♦♠♦ = '	♦♣♦ = €	♦♥♦ = \$	♦♦♦ = &	♦

Tabella 4.4 Codice ottenuto con le carte.

i quaderni della DIDATTICA

Rivolta a chi già insegna o desidera intraprendere la professione di docente, ma anche ai candidati a corsi di specializzazione e studenti universitari, la collana contiene volumi dedicati ai principali strumenti teorici e operativi della didattica, la cui acquisizione costituisce un aspetto fondamentale della professione di insegnante.

Il volume mette a disposizione di chi insegnerà o già insegna in contesti scolastici ed extrascolastici, i principali fondamenti pedagogici della didattica della biologia, con lo scopo di supportare i futuri insegnanti nella costruzione di saperi e buone pratiche indispensabili nell'ambito della propria professionalità, sviluppando la capacità di attivare percorsi di apprendimento che facilitino l'acquisizione di conoscenze e abilità su vari livelli.

Le tematiche che costituiscono la base della teoria della biologia sono puntualmente descritte, e poi sviluppate attraverso proposte operative (descritte in schede lungo il testo e attività pratiche in un apposito capitolo) che permettono di sviluppare in aula una didattica basata sulle metodologie attive.

Il volume è arricchito da un'ampia bibliografia di riferimento.



www.edises.it
info@edises.it

 Per essere sempre aggiornato
seguici su Facebook
facebook.com/ilconcorsoacattedra

Clicca su mi piace  per ricevere gli
aggiornamenti.



€ 18,00

ISBN 978-88-3319-021-1

