

Gli “organismi modello” nella didattica della biologia

To understand a complex problem, it is sometimes useful to exploit an easier "model". The “model organisms” used in Biology can be used effectively in teaching too.

Per capire un problema complesso a volte può risultare utile scegliere e utilizzare un “modello” più semplice nel quale il fenomeno da indagare si presenta in modo particolarmente “puro” ed esemplare: tutto ciò che verrà “capito” nel modello sarà poi estrapolato e verificato in contesti più complessi. La storia della scienza, e in particolare quella della biologia, è stata continuamente contraddistinta dalla continua ricerca degli strumenti più adatti per affrontare l’indagine scientifica: dai piselli di Mendel, alle uova e agli embrioni degli anfibi¹ e del riccio di mare; dall'assone gigante del calamaro, alle ghiandole salivari della drosophila; e ancora, dal sistema immunitario del topo al sistema nervoso dell'*Aplysia*... la biologia moderna si è progressivamente costruita su sistemi-modello².

1. Gli organismi modello

*“Un **organismo modello** è una specie estensivamente studiata per comprendere particolari fenomeni biologici, in base al presupposto che le acquisizioni fatte sull'organismo modello possano fornire indicazioni sugli altri organismi. Ciò è possibile grazie al fatto che i principi biologici fondamentali, come le vie metaboliche, di regolazione e di sviluppo, e i geni che le codificano, si mantengono attraverso l'evoluzione”. E' questa la definizione che Wikipedia, la famosa enciclopedia online, fornisce degli organismi modello.*

Ogni organismo modello presenta sia dei vantaggi che degli svantaggi, per cui la scelta di un particolare modello viene fatta in funzione principalmente del tipo di ricerca che si deve affrontare. In linea generale le caratteristiche che un organismo animale o vegetale deve possedere per essere un “buon modello” sono quelle elencate nella Tabella 1.

Tabella 1

Le caratteristiche fondamentali nella “scelta” di un organismo “modello”

- Ciclo vitale breve, in modo da consentire lo studio per varie generazioni;
- Progenie numerosa, in modo da consentire lo studio di numerosi individui;
- Facilità di allevamento e manipolazione;
- Basso costo;
- Esiguo numero di cromosomi o ridotta dimensione del genoma.

Il primo organismo modello impiegato in esperimenti rigorosi è stato il pisello da orto³, utilizzato da Mendel per la comprensione delle leggi dell'ereditarietà. Esso infatti risponde a specifiche esigenze di incrocio controllato, rapido passo generazionale, prole numerosa,

¹ *Xenopus laevis*

² Negli ultimi decenni la ricerca biologica ha utilizzato gli organismi modello soprattutto per affrontare lo studio della complessità biologica e la comprensione del “programma genomico”.

³ *Pisum sativum*

caratteri fenotipici alternativi e disponibilità di numerose varietà commerciali. Queste caratteristiche lo resero ottimale per un approccio ai problemi della ereditarietà di tipo quantitativo e statistico. Successivamente il lievito *Saccharomyces cerevisiae*, il moscerino della frutta *Drosophila melanogaster*, la piccola pianta *Arabidopsis thaliana*, il verme nematode *Caenorhabditis elegans*, e, tra i vertebrati, oltre al topo (*Mus musculus*), il pesciolino *Danio rerio*, presentando tutti tali caratteristiche, hanno avuto ed hanno ancora enorme importanza nella ricerca scientifica, specialmente in biologia molecolare. Ma vediamo ora i motivi del successo di alcuni di essi. La *Drosophila*, un organismo “storico” per le ricerche di genetica, deve la sua fortuna alla facilità con la quale si possono seguire nelle generazioni gli effetti delle mutazioni genetiche. Più recentemente il successo del nematode *C. elegans*, un organismo costituito da poco più di 1000 cellule, è in buona parte dovuto agli studi di genetica dello sviluppo: il suo basso numero di cellule ha infatti consentito di ricostruire a partire dallo zigote l'intera discendenza cellulare, permettendo di trarre una serie di conclusioni che vanno dritto al cuore di uno dei maggiori problemi della biologia dello sviluppo, il differenziamento cellulare e la sua determinazione progressiva⁴. Il riccio di mare, *Paracentrotus lividus*, è da sempre usato nei laboratori di ricerca per lo studio dei meccanismi connessi all'interazione fra gameti ed allo sviluppo embrionale. Tra i vertebrati lo Zebrafish, il *Danio rerio*, si sta rivelando estremamente potente per la facilità di osservazione e di manipolazione dell'embrione, caratteristiche che permettono di eseguire un'efficace analisi genetica.

Ma gli organismi modello, oltre che nella ricerca, possono essere efficacemente utilizzati anche in ambito didattico dove possono costituire un interessante e versatile “strumento” per affrontare lo studio sia dei meccanismi biologici di base, sia delle più complesse e recenti tematiche biomolecolari. Il loro utilizzo consente inoltre di far incontrare gli allievi direttamente con gli stessi organismi che hanno utilizzato i ricercatori e che hanno fatto la storia della biologia, facendo sentir agli studenti “l'intrigo di rivoltare pietra su pietra... per scoprire il mistero”⁵.

2. Osservare e sperimentare con gli organismi viventi in laboratorio e in classe

Disporre in classe di un vasto repertorio di organismi (piante, animali, muffe, batteri) e dei loro “ambienti” di esistenza (acquari, terrari, piastre, germinatoi), significa disporre di un contesto sperimentale dove, con lenti diverse ed in tempi diversi, è possibile condurre continue osservazioni e riflessioni sui “sistemi complessi”. Quest'ultimi sono caratterizzati da un altissimo numero di elementi interagenti e organizzati in unità subordinate, e sono dotati di azioni di regolazione che generalmente si realizzano mediante *meccanismi di retroazione* il cui funzionamento o prestazione non è riconducibile alla somma dei funzionamenti parziali dei diversi sottosistemi che lo compongono, ma emerge come prodotto dell'insieme (*vedi mappa concettuale della Figura 1*).

Anche semplici organismi, introdotti in classe dopo aver svolto una visita guidata o una passeggiata nei campi, possono essere utili per condurre osservazioni a varie scale di ingrandimento, per eseguire misurazioni e confronti, per individuare costanti e variabili tra le specie e nelle specie, per arrivare a formulare ipotesi e a verificarle. A volte è sufficiente quello che si può trovare in un pugno di terra o in una goccia di acqua; altre volte si possono utilizzare animali e piante specifici.

La ricostruzione di un ambiente acquatico o terrestre mediante l'allestimento di acquari e terrari consente di studiare il fenomeno vita in condizioni semplificate, controllate e

⁴ E. Boncinelli, *Biologia dello sviluppo*, Carrocci, Roma, 2001.

⁵ Richard Feynman, *Il piacere di scoprire*, Aepi, 1999

regolabili rispetto ad alcuni parametri, allo scopo di giungere alla costruzione di modelli di interpretazione della realtà applicabili anche in campo, dove la complessità e la dinamicità del sistema è di ordine superiore.

Questo tipo di approccio, infine, sollecita fortemente le motivazioni e gli interessi dei ragazzi e dà senso alla esperienze inserendole in un percorso; mette inoltre in gioco tutta una serie di abilità intellettuali e pratiche: dalla capacità di progettare, a quella di operare manualmente utilizzando strumenti per costruire, mantenere e allevare animali e piante; dalla capacità di ragionare su fattori reali a quella di prevedere, ecc.. Tutto ciò amplia le prospettive di lavoro e le forme di pensiero coinvolte, coinvolgendo attivamente i ragazzi a seconda delle loro potenzialità, preferenze, motivazioni, ecc..

3. Alcune esperienze

Proponiamo qui sinteticamente alcuni esempi di percorsi didattici sperimentati anche nell'ambito del Piano ISS (*Insegnare Scienze Sperimentali*) che permettono di affrontare alcuni nuclei tematici fondamentali nello studio delle Scienze della Vita attraverso esperienze laboratoriali significative e flessibili, facilmente realizzabili anche in classe in quanto non necessitano di strumentazioni sofisticate né di laboratori attrezzati⁶.

a. Allevare moscerini della frutta

Allevare e far riprodurre moscerini della frutta (*Drosophila melanogaster*) permette di affrontare sperimentalmente una serie di temi centrali della biologia quali la variabilità biologica, il ciclo vitale, la metamorfosi, il dimorfismo sessuale, la riproduzione sessuata, le mutazioni e le modalità di trasmissione dei caratteri ereditari.

L'attività proposta nella scheda 1 consente di rispondere a domande del tipo: "Come (da dove, da chi) nasce un essere vivente?", "Come è possibile distinguere i maschi dalle femmine?", "Nascono più maschi o più femmine?", "Quali trasformazioni gli organismi affrontano prima di diventare adulti?".

I moscerini possono essere facilmente procurati o catturati soprattutto a settembre-ottobre, in occasione della fermentazione dell'uva. Essi vengono allevati in piccoli contenitori trasparenti dove si possono osservare ad occhio nudo, con la lente d'ingrandimento o con lo stereomicroscopio, apprezzandone le diverse caratteristiche.

Particolarmente significativa è l'osservazione del loro ciclo vitale (vedi scheda n. 1), che avviene in un tempo didatticamente gestibile (circa 15 giorni a temperatura di 25°C) e presenta metamorfosi completa.

Osservare e ragionare sulla *metamorfosi dei moscerini* può diventare una esperienza molto significativa: la crescita e lo sviluppo degli organismi sono infatti processi continuamente giocati tra le due categorie, solo apparentemente opposte, di *identità e cambiamento*. Tutto ciò non è chiaro ai ragazzi, che in genere hanno familiarità con organismi a sviluppo diretto, nei quali il processo è continuo e le modifiche poco evidenti. Nella metamorfosi completa, con le sue profonde trasformazioni chiaramente definite, i processi di crescita e sviluppo sono invece scanditi da iati decisivi: *il continuo sembra diventare discreto e quindi più chiaro ed esemplare*. La drammatica trasformazione che avviene nella fase di pupa, durante la quale l'organismo viene completamente demolito e ricostruito utilizzando la sua stessa materia, può essere infine l'occasione per riflettere sul concetto di autopoiesi.

⁶ Un'ampia serie di protocolli sperimentali utilizzabili nella didattica con gli organismi modelli è stata pubblicata nell'articolo **Gli organismi modello nell'insegnamento delle bioscienze** di Angela Crimi, Giulia Forni, Maria Carmela Sirgiiovanni, Anna Pascucci, Didattica delle Scienze, 248, febbraio 2007.

Se il programma genetico dell'organismo ed i meccanismi ormonali consentono di rispondere alle domande del *come* avviene la metamorfosi, il *perché* è da ricercare nella biologia evolutiva: stadi diversi corrispondono a colonizzazioni di ambienti diversi e possono quindi presentare un vantaggio evolutivo. In tal modo, infatti, nelle diverse fasi della propria esistenza un solo organismo, oltre a diverse forme, strutture e funzioni, può occupare anche diverse nicchie ed avere diverse relazioni e interazioni con l'ambiente.

È possibile infine procurarsi ceppi di drosofile mutanti rispetto al colore degli occhi (le ben note occhi bianchi usate da T. H. Morgan) o del corpo o nella forma delle ali. Con esse è possibile osservare una evidentissima variabilità intraspecifica, ma soprattutto si possono allestire incroci che permettono di osservare la trasmissione dei caratteri ereditari sia in relazione al sesso, sia alla "vicinanza" fisica dei geni sui cromosomi.

b. Allestire acquari

Realizzare un acquario e prendersene cura significa svolgere un percorso didattico, sotto forma di "progetto", che innesca modalità di lavoro attive, partecipative e collaborative e che aiuta a "ripensare" e a rivedere le proprie posizioni e i propri saperi. Gli acquari possono essere utilizzati per lo studio dell'ambiente e dello sviluppo embrionale. In particolare si possono allestire acquari per la riproduzione di *Danio rerio*, un pesce tropicale diffusissimo nei negozi di acquariologia (*Scheda n. 2*). Tale animale presenta una caratteristica molto particolare, che lo rende prezioso dal punto di vista didattico: i suoi embrioni sono trasparenti e possono quindi essere osservati senza "sacrificare" l'animale.

L'esperienza ha bisogno dell'allestimento di un acquario per la riproduzione ed uno per l'accrescimento, in quanto gli adulti si nutrono dei loro embrioni. I due acquari hanno caratteristiche diverse e permettono di osservare e ragionare sui diversi fattori biotici ed abiotici dell'ambiente, evidenziando variabili e relazioni difficilmente comprensibili sul piano teorico per la complessità dei fattori coinvolti quali:

- le necessità dei viventi, in termini di materia ed energia;
- l'effetto "sull'ambiente" del metabolismo dei viventi, con l'emissione di "scarti" costituiti dai prodotti finali dei processi catabolici;
- i limiti rappresentati dalla scarsa disponibilità di ossigeno e l'effetto dei prodotti tossici;
- i limiti di in un sistema "chiuso", che dipende dall'apporto esterno e che presenta un equilibrio precario, perché un acquario, diversamente dall'ambiente naturale, non si "autoregola" e non ha caratteristiche di resilienza ed omeostasi;
- la dipendenza dai fattori chimici e fisici e dai fattori biotici (le piante presenti, gli adulti per la riproduzione o la predazione e il cannibalismo).

Le esperienze con gli acquari devono partire sempre dalla riflessione sulle caratteristiche del biotopo di origine degli organismi che devono essere accuditi per cercare di riprodurle in acquario; successivamente esse possono essere completate ed integrate con uscite sul campo (per esempio un ambiente fluviale) dove i parametri fisici e chimici, le relazioni e le variabili tenute sotto controllo negli acquari della classe vengono ritrovate e confrontate con quelle misurate in ambiente naturale. Alcune idee essenziali che possono fare da guida al percorso sono quella di biorelatività dell'ambiente studiato, le differenze e le uguaglianze tra il sistema-fiume e il sistema-acquario, la relazione microscopico-macroscopico per comprendere fenomeni complessi come la crescita degli organismi o il rapporto tra struttura e funzione.

c. Osservare la vita in un pugno di terra: i batteri del suolo e la nodulazione delle leguminose.

E' particolarmente fertile allestire un percorso che partendo da "un pugno di terra" realizza attività didattiche sperimentali con i diversi organismi del terreno e, in particolare, con i batteri. Tra questi particolarmente interessanti sono i batteri azoto fissatori, sia quelli che vivono "liberi" nel suolo, sia quelli "simbionti" con radici di leguminose.

Utilizzando materiale povero (terreno, radici nodulate di trifoglio e fava, piastre con amido, semi di leguminose, tintura di iodio) e una strumentazione minima (lente di ingrandimento) è possibile coltivare e osservare i batteri del suolo ed i loro effetti straordinari sugli organismi eucarioti. L'esperienza centrale del percorso proposto (*Scheda n. 3*) riguarda la relazione simbiotica dei batteri azoto fissatori con le radici delle piante leguminose.

Si può iniziare con la raccolta di piante di fava e con l'osservazione dei noduli della radice che vengono asportati e misurati. Si può poi provare a rispondere alle domande: "A cosa servono i noduli delle leguminose? Cosa contengono?". Per farlo se ne estrae il contenuto e lo si coltiva su piastra. Si ottengono così colonie di *Rhizobium*, batteri del suolo azoto fissatori che stabiliscono con le leguminose relazioni simbiotiche.

Per rispondere alla domanda "*Rhizobium* apporta benefici alla pianta?" occorre mettere in coltura semi di pisello le cui radichette vengono infettate con i batteri; è opportuno quindi allestire un controllo con semi non infettati. Si devono quindi seguire con attenzione tutte le fasi della germinazione dei semi perché l'infezione deve avvenire in un determinato momento. I ragazzi devono quindi annotare con cura tutto quello che osservano, individuando le caratteristiche da confrontare delle piante infettate e di quelle non infettate: lunghezza ed aspetto del fusto, lunghezza e numero delle radici, presenza di noduli radicali.

Durante il percorso sperimentale, misurando ed osservando, è possibile focalizzare di volta in volta l'attenzione degli studenti sul ciclo vitale di una pianta, sulla riproduzione e la coltivazione dei batteri, sull'interazione tra batteri e piante (noduli) e su come essa influenza positivamente la variabilità intraspecifica della pianta, sul problema del potere germinativo dei semi e di come esso è influenzato dal freddo.

I percorsi con gli organismi e sistemi modello sono frutto di anni di sperimentazioni in classe e sinergie tra gruppi di docenti di vario ordine e grado e ricercatori di istituti scientifici. Alcuni di essi sono stati inizialmente sviluppati in progetti locali, nazionali ed internazionali, quali SeT di specifiche istituzioni scolastiche, SeT di reti interistituzionali della C.M. 131, Piano ISS, Progetto Volvox del VII Programma Quadro dell'Unione Europea.

Alcuni protocolli sperimentali e pubblicazioni relative possono essere reperiti anche in rete agli indirizzi:

www.farescienza.it,

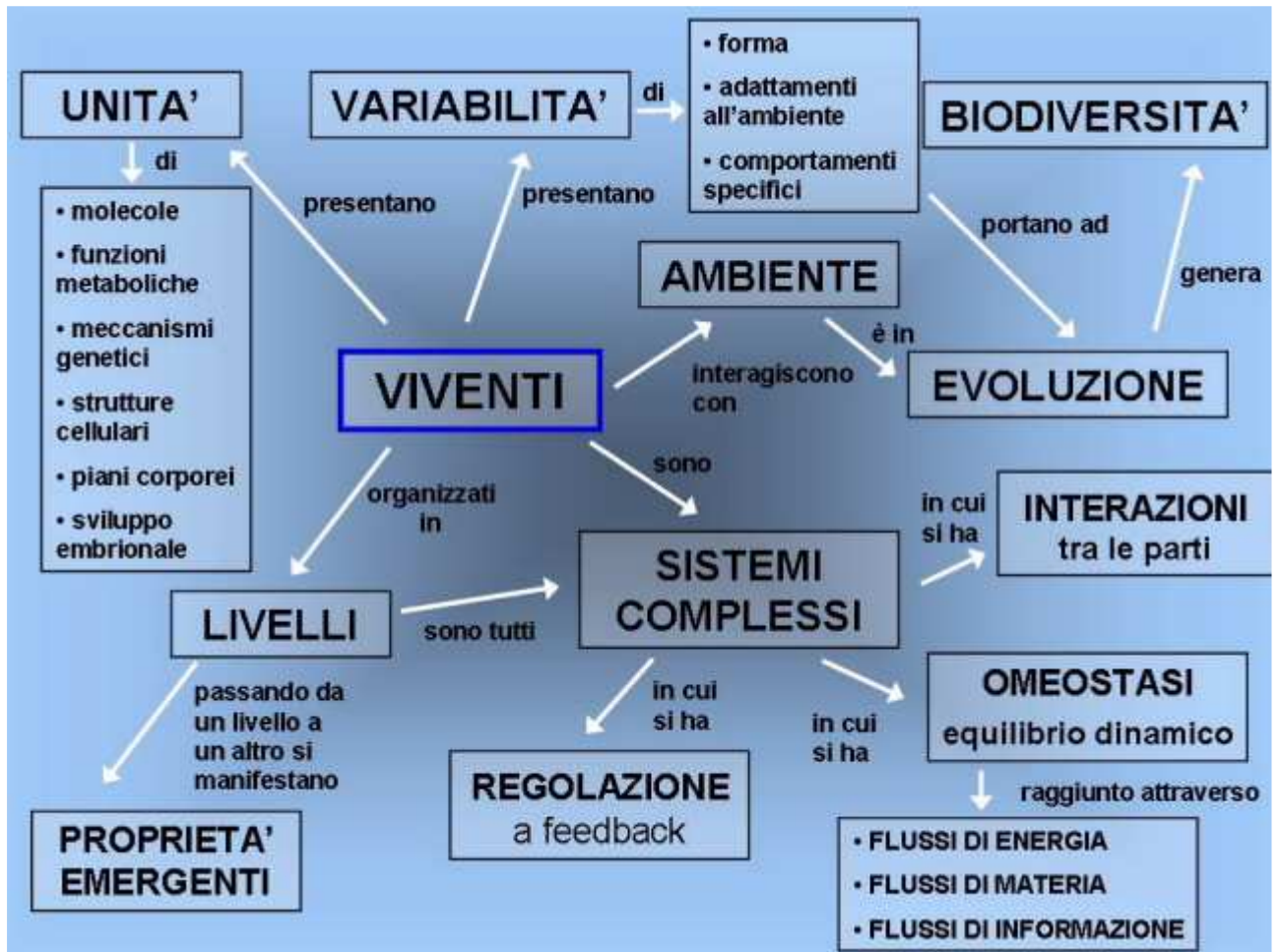
www.openscience.it,

<http://www5.indire.it:8080/set/biotecnologie/index.htm>,

<http://www.coinor.unina.it/volvox/>.

Vincenzo Boccardi, docente scuola secondaria di secondo grado, **Angela Crimi**, docente scuola secondaria di primo grado **Giulia Forni**, docente scuola secondaria di primo grado, e **Anna Pascucci**, presidente ANISN e membro del Gruppo di Pilotaggio Nazionale Piano ISS

Figura 1 – L'unità, la variabilità e la complessità dei sistemi viventi



Mapa elaborata dalla prof.ssa *Eva Godini* della sezione Friuli Venezia Giulia dell'A.N.I.S.N. reperibile nel suo contesto originario nel sito www.anisn.it

Scheda 1 - Il ciclo vitale della *Drosophila melanogaster*



Materiale occorrente:

Drosophila melanogaster selvatica, stereomicroscopio, etere, eterizzatore, contenitori di plastica.

Attività didattiche

Le drosophile volano, ma non è difficile osservarle seguendo questo protocollo: le Drosophile vengono inserite nell'eterizzatore per pochi secondi, il tempo necessario per narcotizzarle; vengono quindi deposte su di un cartoncino ed osservate allo stereomicroscopio: si notano immediatamente i grandi occhi rossi, le lunghe e ben distese ali ed il colore degli occhi. La drosophila presenta uno spiccato dimorfismo sessuale: la femmina è più grande del maschio ed ha l'addome più appuntito. Il maschio presenta una zona molto scura all'estremità del corpo e strutture simili a pettini sugli arti anteriori utilizzate per bloccare la femmina durante l'accoppiamento. I ragazzi imparano molto presto a separare gli individui morfologicamente diversi e se poi allevano i due generi separatamente in pochi giorni saranno in grado di distinguere i maschi dalle femmine.



Molto significativa è l'osservazione del ciclo vitale: si inseriscono in un contenitore 10 maschi e 10 femmine. Dopo la deposizione delle uova gli adulti vengono allontanati e nei giorni successivi è possibile seguire allo stereomicroscopio la metamorfosi dell'insetto.



Larva



Prepupa



Pupa

Si possono quindi osservare i mutanti rispetto al colore degli occhi, rispetto al colore del corpo, rispetto alla struttura delle ali.

Scheda 2 – Lo sviluppo embrionale di *Danio rerio*



Materiale occorrente:

Un acquario fornito di luce, timer, filtro, termostato; un acquario fornito di luce e termostato; un sifone per la pulizia dell'acquario; un termostato; un microscopio e uno stereomicroscopio per le osservazioni; due becker da 250 millilitri; mangime: scaglie, artemie, granulato 00 per gli embrioni; indicatori dei 5 parametri fondamentali (nitriti, nitrati, pH, GH, KH); fiale contenenti batteri nitrificanti non patogeni; vaschette per la deposizione delle uova; biglie di vetro; capsule Petri; pipette Pasteur di plastica; ricambi per il filtro; piante di *Egeria densa* o altre piante resistenti; sabbia e fertilizzante; acqua demineralizzata; un colino; un retino; vetrini a goccia (con uno o più pozzetti); 1 esemplare di *Danio rerio* per ogni 1,5 litri di acqua

Attività didattiche

Quindici giorni prima di iniziare l'esperienza si allestiscono due acquari in modo che l'acqua "maturi":

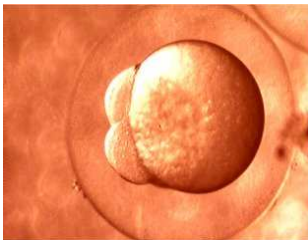
- il primo acquario, da 30 lt, per gli esemplari adulti che si dovranno riprodurre, deve essere completo di luce, termostato e filtro e simulare l'ambiente in cui vive il danio.
- l'altro, per l'accrescimento degli avannotti, è più piccolo privo di filtro, ma con termostato, luce, e piante

Se le analisi dei parametri fondamentali dell'acqua lo permettono, si procede all'inserimento di 15 - 20 danio nel primo acquario mentre il secondo acquario si sarà arricchito di limnee e protozoi e per la presenza delle piante e si sarà creato l'ambiente adatto ad accogliere gli avannotti. *Danio rerio* va alimentato due volte al giorno e si riproduce in media una volta alla settimana, alle prime luci dell'alba quando il maschio corteggia la femmina rincorrendola. Le uova, deposte, vengono immediatamente fecondate. Siccome lo zebrafish si nutre anche delle sue uova, per far sviluppare gli embrioni bisogna usare una "vaschetta nido".



Le uova deposte vengono risciacquate utilizzando un colino da tè e cambiando più volte l'acqua, sistemate in un becker con acqua minerale naturale e poste in una camera termostata a 28 gradi per una settimana sostituendo due dita di acqua ogni giorno. Dopo 8 giorni gli embrioni vengono inseriti nel secondo acquario, dove si cibano dei parameci contenuti nell'acqua e di cibo granulato 00.

Gli embrioni possono essere osservati allo stereomicroscopio o al microscopio ottico a partire dall'avvenuta fecondazione dell'uovo. E' emozionante seguire nel giro di soli tre giorni, tutte le trasformazioni che portano dallo stadio di zigote, poi blastula e gastrula fino alla completa organogenesi!



Scheda 3 – La nodulazione delle leguminose

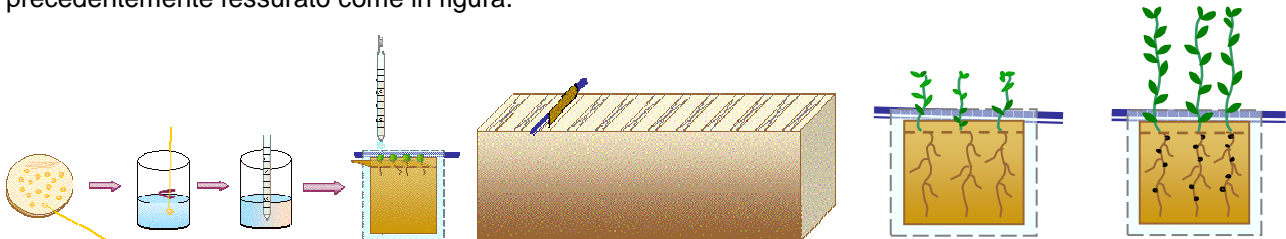


Materiale occorrente:

10 capsule Petri con terreno di cultura Tyr, 1 confezione di anse sterili, 1 confezione di tubini da microcentrifuga da 1.5 ml, pestello (va bene anche il tappo di una penna), Acqua ossigenata al 3%, Alcool denaturato, 100 semi di leguminose, 12 buste trasparenti per la crescita per piante del tipo di quelle che vengono usate per contenere gli alimenti da surgelare, Scatola per alloggiare le buste, Cartoncino bristol, 19 pipette da 2 ml e 2 pipette da 25 ml con filtro di cotone, Acqua minerale non gasata, Nastro adesivo, Parafilm, 1 becker, Un cilindro, Una lente da ingrandimento, Piante di leguminose con radici nodulate, Candeggina

Attività didattiche

Si prendono circa 80 semi di piselli e/o di altra leguminosa (fagioli, lenticchie) e si disinfettano i semi con lavaggi in acqua ossigenata e infine con acqua minerale. 4/5 semi vengono allocati in apposite tasche di ciascuna busta di crescita. Si aggiunge acqua minerale e si pongono le buste in uno scatolo precedentemente fessurato come in figura.



Intanto si raccolgono direttamente dal terreno da parte degli allievi o dell'insegnante piantine varie di leguminose con radici nodulate (è possibile trovarle in terreni non concimati, o concimati con concimi poco ricchi in sali di azoto), come trifogli, mimose, ginestre, fave, lenticchie, fagioli, piselli, eccetera, a seconda della stagione e delle diverse realtà. Si preleva ciascun nodulo separatamente, si schiaccia con un pestello in un tubicino e la sospensione si semina su di una piastra contenente tyr (terreno di cultura per Rhizobium). I batteri su piastra crescono a temperatura ambiente (20°C) in 5/6 giorni.

I semi germinati nelle buste (dopo 5/6 giorni) vengono infettati con i batteri prelevati dalle piastre e sospesi in pochi ml di acqua distillata.

Lo schema sperimentale può essere il seguente: avendo a disposizione 12 buste di crescita infettare 3 buste contenenti semi (p.e. di piselli) con i batteri provenienti da noduli di pianta di fagiolo, 3 buste con semi di piselli con batteri provenienti da noduli di trifoglio, 3 buste con semi di piselli con batteri provenienti da fava e 3 buste con semi di piselli non infettate che possano fungere da controllo. Possono essere usati anche semi diversi combinandoli con estratti da noduli diversi in modo da investigare sulla specificità del processo simbiotico.

Dopo 25/30 giorni dall'infezione, solo se il batterio "giusto" ha infettato la radichetta della pianta "giusta" sarà evidente una crescita rigogliosa di piantine. La trasparenza delle buste di crescita rivelerà la presenza di noduli radicali solo sulle radici delle piantine rigogliose.

Articolo pubblicato su Nuova Secondaria, 95-100, 2, 15 ottobre 2009.

