

Organismi modello: *Drosophila melanogaster*

DIARIO DI BORDO DOCENTE

DESTINATARI: alunni classe terza F

La classe è costituita da 31 elementi: 12 femmine e 19 maschi. E' un vero piacere lavorare con loro: sono attenti, curiosi, aperti al dialogo.

Hanno partecipato e partecipano ad attività di "Robotica" e al concorso "Energia in gioco".

Le attività sperimentali con *Drosophila Melanogaster* che hanno per oggetto la scoperta/verifica del dimorfismo sessuale, del ciclo vitale e delle leggi di Mendel, concorrono in realtà a sviluppare i seguenti obiettivi :

1- favorire una didattica della scienza improntata sull'osservazione

2- saper formulare ipotesi non solo per spiegare fatti e fenomeni, ma anche per organizzare correttamente l'attività laboratoriale

2- attuare tecniche sperimentali semplici, ma rigorose.

3- fornire strumenti fondamentali per la lettura dei risultati attraverso l'attività di matematizzazione (ad es., calcolo della probabilità, elementi di statistica).

4- costruire modelli matematici interpretativi

Sia per lo svolgimento dell'attività che per la realizzazione degli esperimenti è stata seguita la seguente sequenza temporale di interventi didattici:

1-Presentazione alla classe del problema.

2-Richiamo dei prerequisiti e introduzione di nuovi concetti.

3-Svolgimento o esecuzione dell'esperimento: gli alunni lavorano quasi sempre suddivisi in gruppi, in modo da privilegiare la discussione e "l'apprendimento cooperativo"

La stessa attività sulla *Drosophila* è trattata in verticale con le scuole afferenti al presidio del LS "Genoino" di Cava dei Tirreni nell'ambito del Piano ISS (Insegnare Scienze Sperimentali).

PREREQUISITI

1. Saper comunicare e comprendere anche attraverso simboli, tabelle, rappresentazioni grafiche.

2. Conoscenza della cellula e della riproduzione cellulare.

3. Saper distinguere tra mitosi e meiosi.

4. Conoscenza delle leggi di Mendel.

5. Saper calcolare le percentuali e rappresentarle graficamente.

6. Conoscenza di elementi di classificazione degli animali.

Come partire?

Il docente deve supportare gli alunni nella ricerca senza fornire mai in modo diretto informazioni sulla risoluzione del "problema".

Il docente può porre domande tipo: <che cosa sapete di questo argomento?>< che cosa pensate che bisognerebbe fare?>< come verificare l'ipotesi formulata?>

L'importanza di ciò che "l'alunno sa già" e se ha delle "misconoscenze" come si fa a scoprirlo?

E' possibile preparare un miniquestionario o attraverso un brainstorm analizzare "cosa sanno già gli alunni" e quali eventuali misconoscenze hanno.

Questo sarà il punto di partenza.

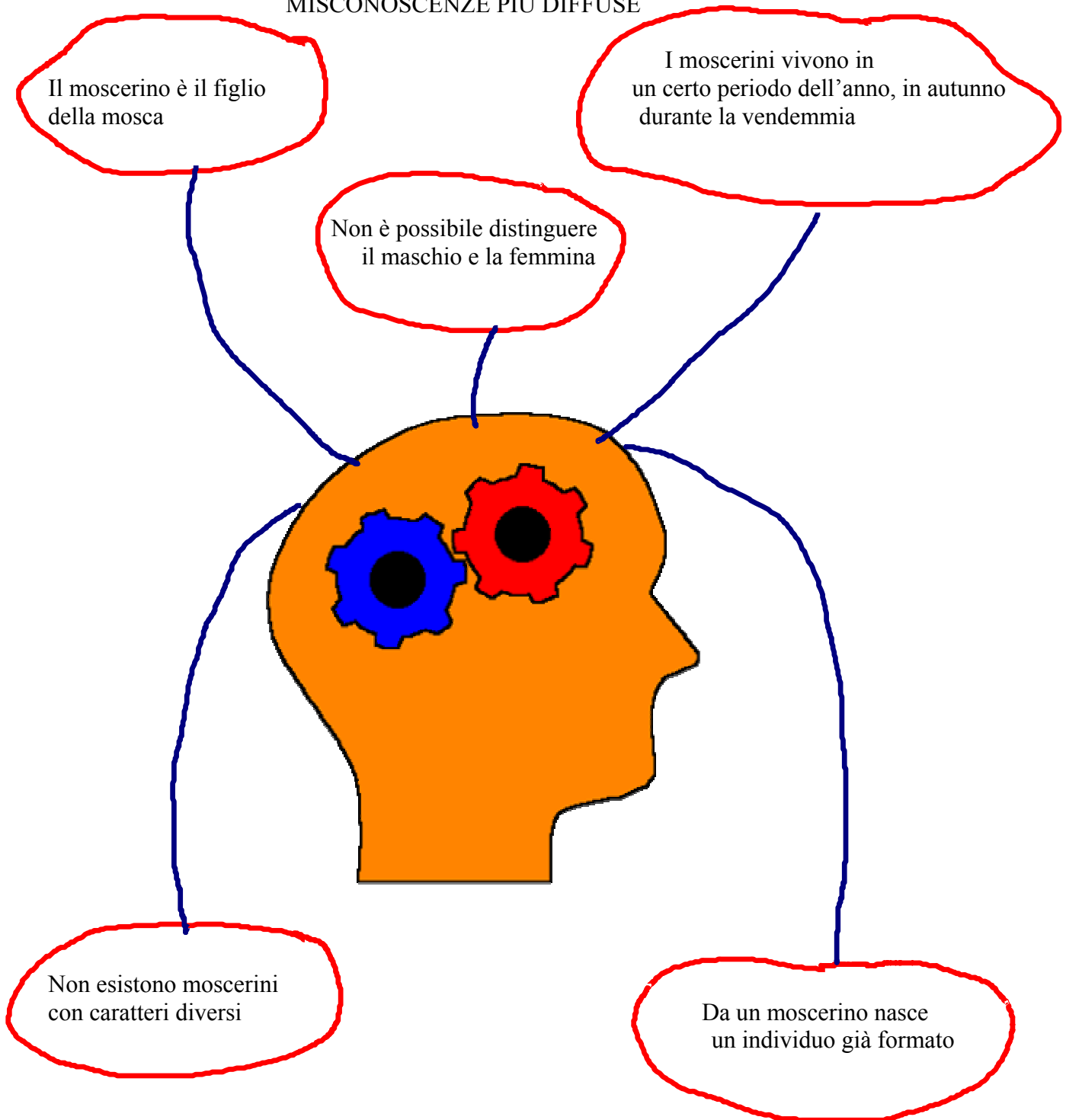
NOTA: all'inizio del percorso ho usato sempre il termine generico "moscerino" in questo modo ho evitato di avvantaggiarli nel cercare notizie già confezionate.

Prima di iniziare il percorso ho somministrato ai ragazzi un piccolo test (verifica dei prerequisiti e/o misconoscenze).

TEST D’INGRESSO

1. Cos’è un insetto?
2. Cosa nasce da un uovo di mosca?
3. Il “moscerino” è il “figlio” della mosca?
4. E’ possibile secondo te distinguere il maschio del moscerino dalla femmina?
5. Qual è il colore degli occhi dei moscerini?
6. Perché da due genitori con occhi neri può nascere un figlio con gli occhi azzurri?
7. Il simbolo ♂ indica.....
8. il simbolo ♀ indica

MISCONOSCENZE PIÙ DIFFUSE



Il percorso didattico prevede:

- 1- Identificare e classificare il "moscerino"
- 2- Dimorfismo sessuale: identificare i maschi e le femmine
- 3- Ciclo vitale
- 4- Caratteri ereditari autosomici e/o sessuali (verifica sperimentale delle leggi di Mendel – Morgan)

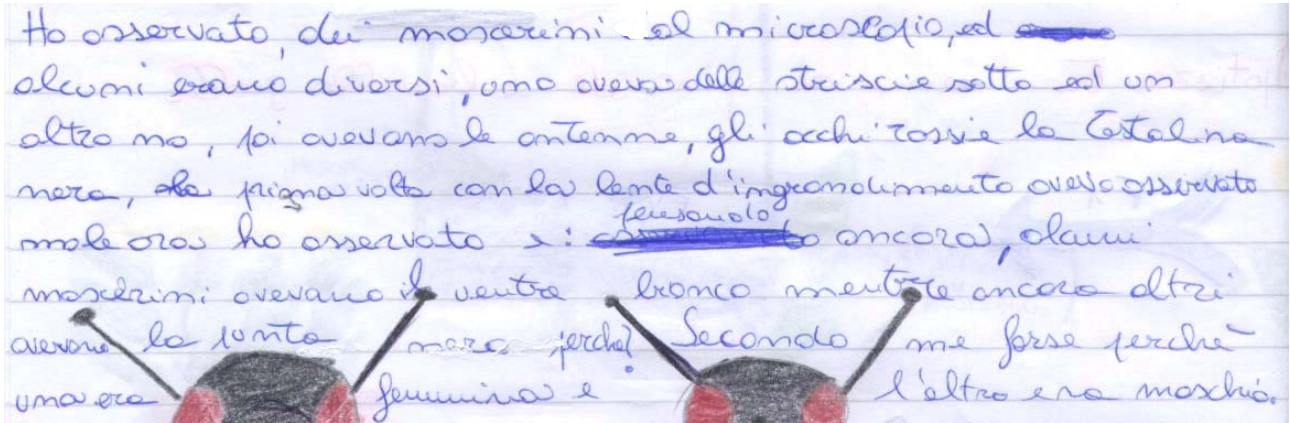
Identificare e classificare il "moscerino": dimorfismo sessuale

I nostri moscerini vengono prima osservati con la lente d'ingrandimento e poi con lo stereomicroscopio.

Per addormentarli usiamo l'etere (più rapido e duraturo)

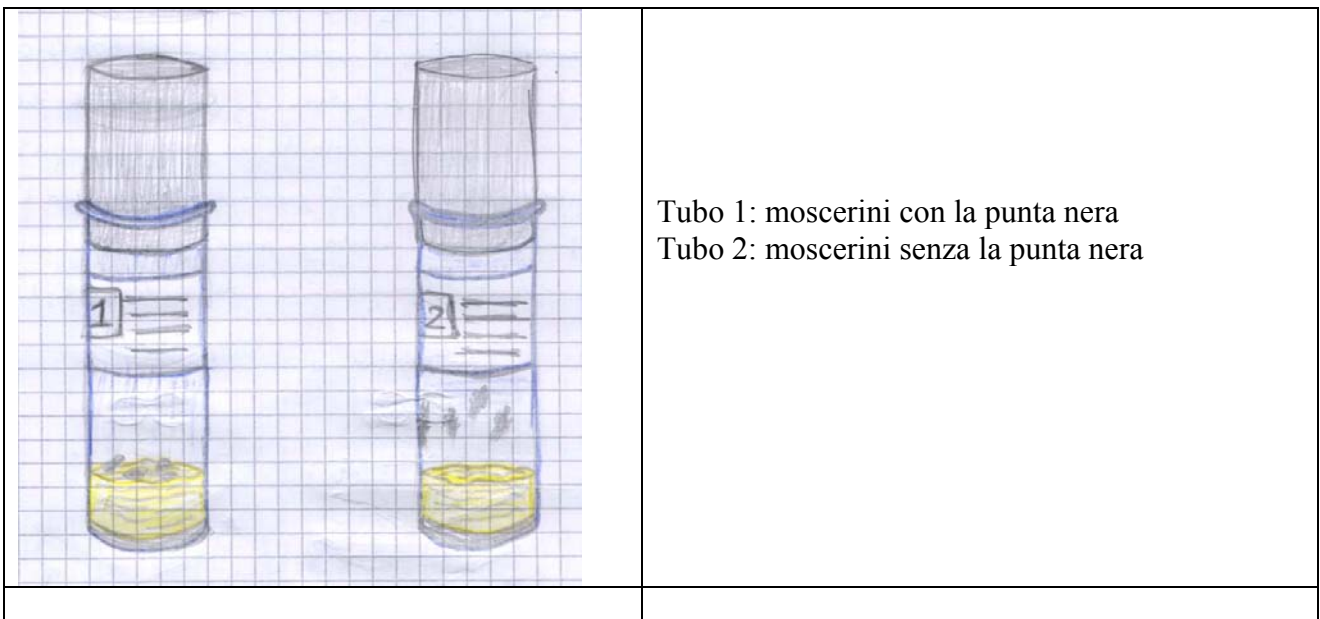
Durante l'osservazione dei moscerini con lo stereomicroscopio quasi tutta la classe ha osservato che alcuni avevano la punta dell'addome nera e altri no.

Perché?



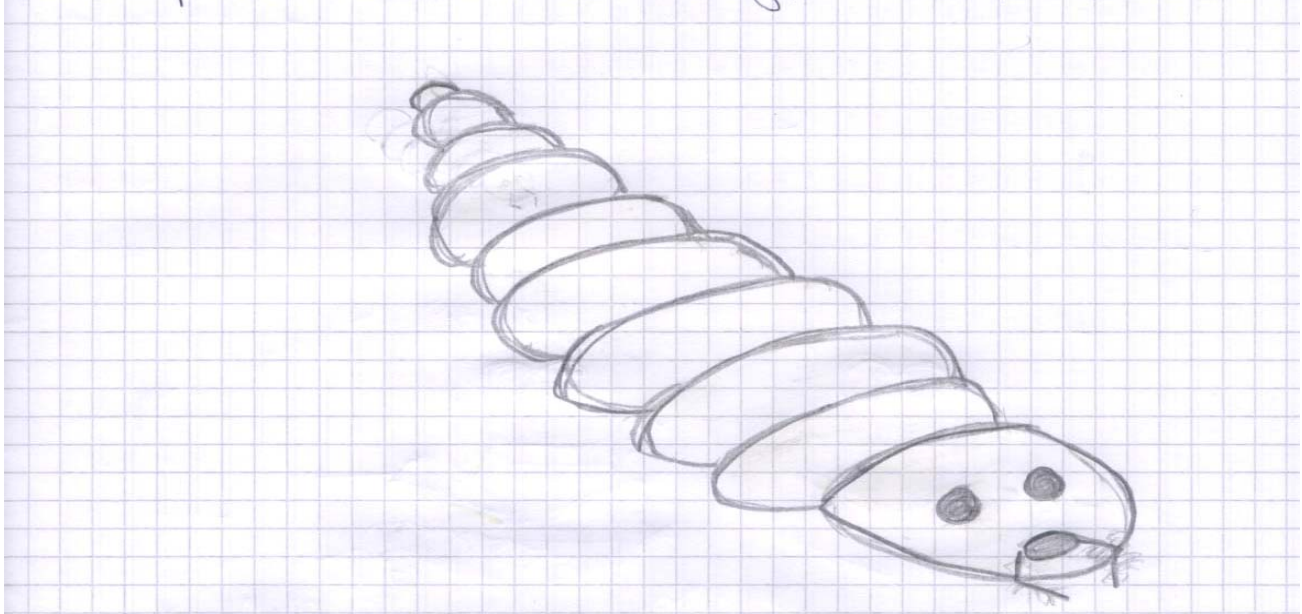
Come fare per stabilire chi è il maschio e chi è la femmina?

Procedimento: separiamo i moscerini senza la punta nera da quelli con la punta nera e poniamoli in due tubi separati.



Dopo qualche giorno nel tubo 2 erano presenti dei "vermicelli" (le larve).

Da c'era un piccolo vermicello bianco che si spostava tra la pappa. Quindi, trovandosi nel tubo 2, dove c'erano le DROSOPHILAE senza la punta, si deduce che le DROSOPHILAE senza punta sono femmine e quelle con la punta sono maschi. Ecco il disegno del vermicello:



Questa osservazione conferma che da un moscerino non nasce un individuo già formato.

Ha questo punto ho svelato il nome scientifico del moscerino della frutta.

Evoluzione linguistica: "muschillo" -termine dialettale- = moscerino = *drosophila melanogaster*.

L'esame, prima con la lente d'ingrandimento e successivamente con lo stereomicroscopio e l'attuazione del protocollo per distinguere il maschio dalla femmina, ci ha consentito di arrivare a determinare la carta d'identità della DROSOPHILA MELANOGASTER.

CLASSE: Insetto

ORDINE: Dittero

FAMIGLIA: Drosophilidae

GENERE: drosophila

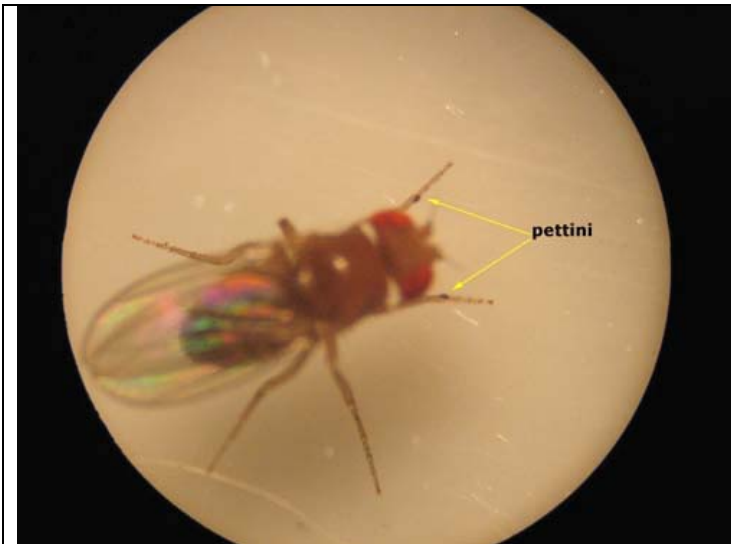
SPECIE: melanogaster

E' evidente il dimorfismo sessuale

DROSOPHILA : maschio



I maschi sono più piccoli delle femmine.
L'addome termina con una punta nera.



Sul primo paio di zampe sono presenti dei "bottoncini neri" (pettini) che servono ad immobilizzare la femmina durante l'accoppiamento.

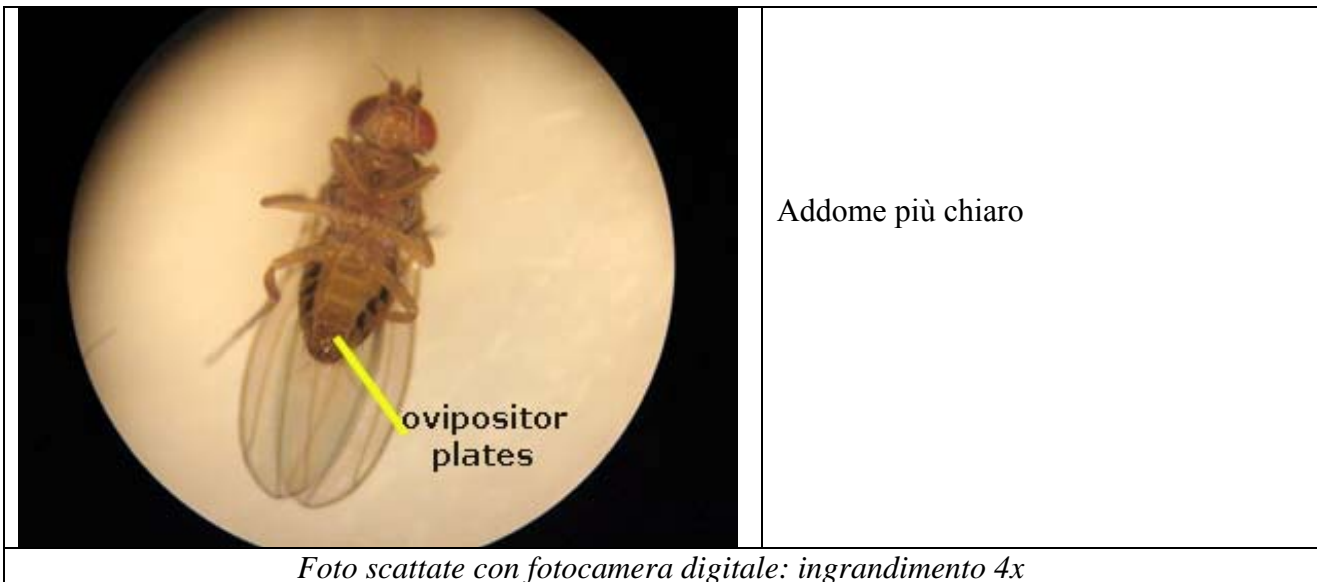


I genitali sono esterni e circondati da un ciuffo di peli.

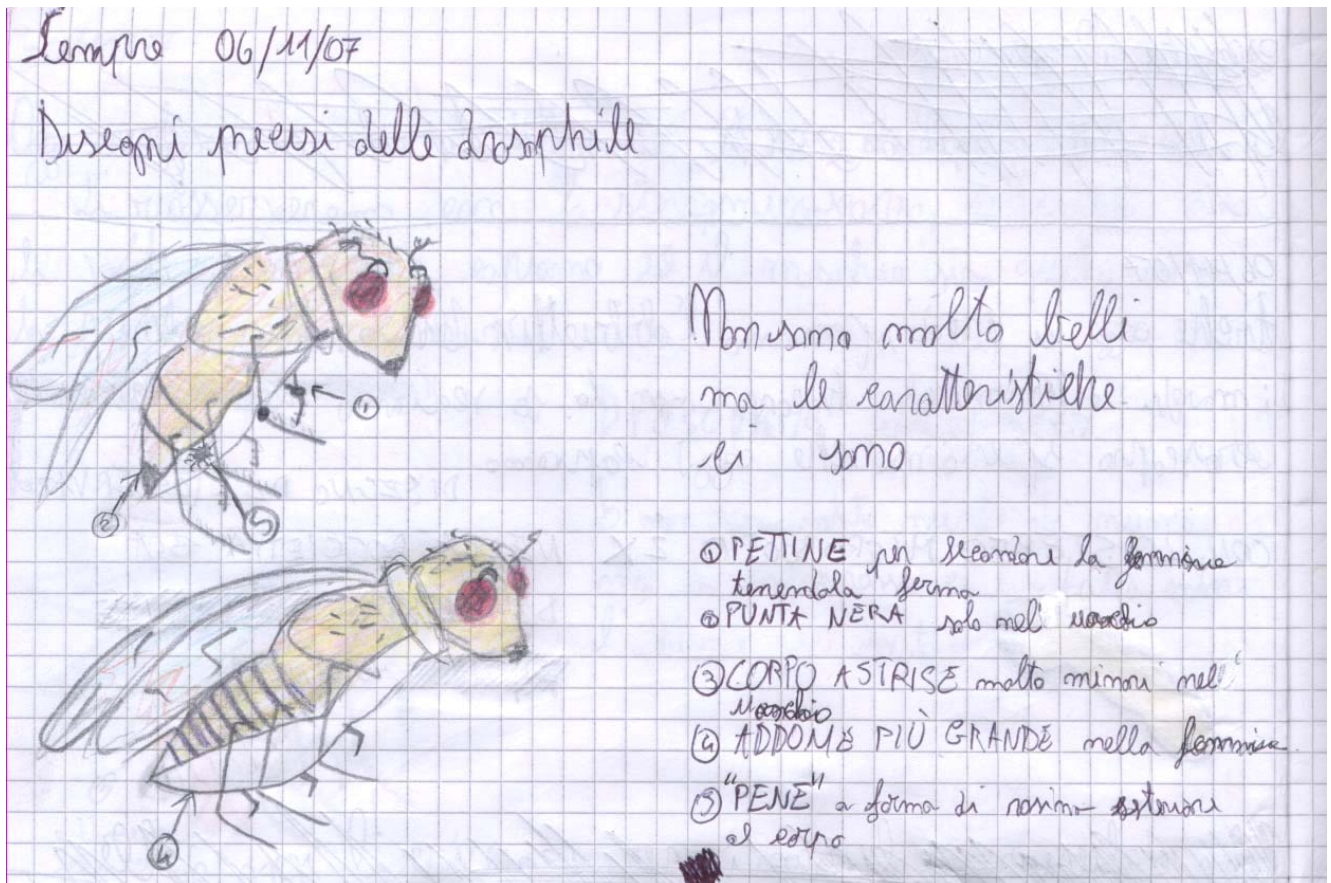
DROSOPHILA: femmina



La femmina è lunga circa 2,5cm. L'addome presenta delle strisce scure.

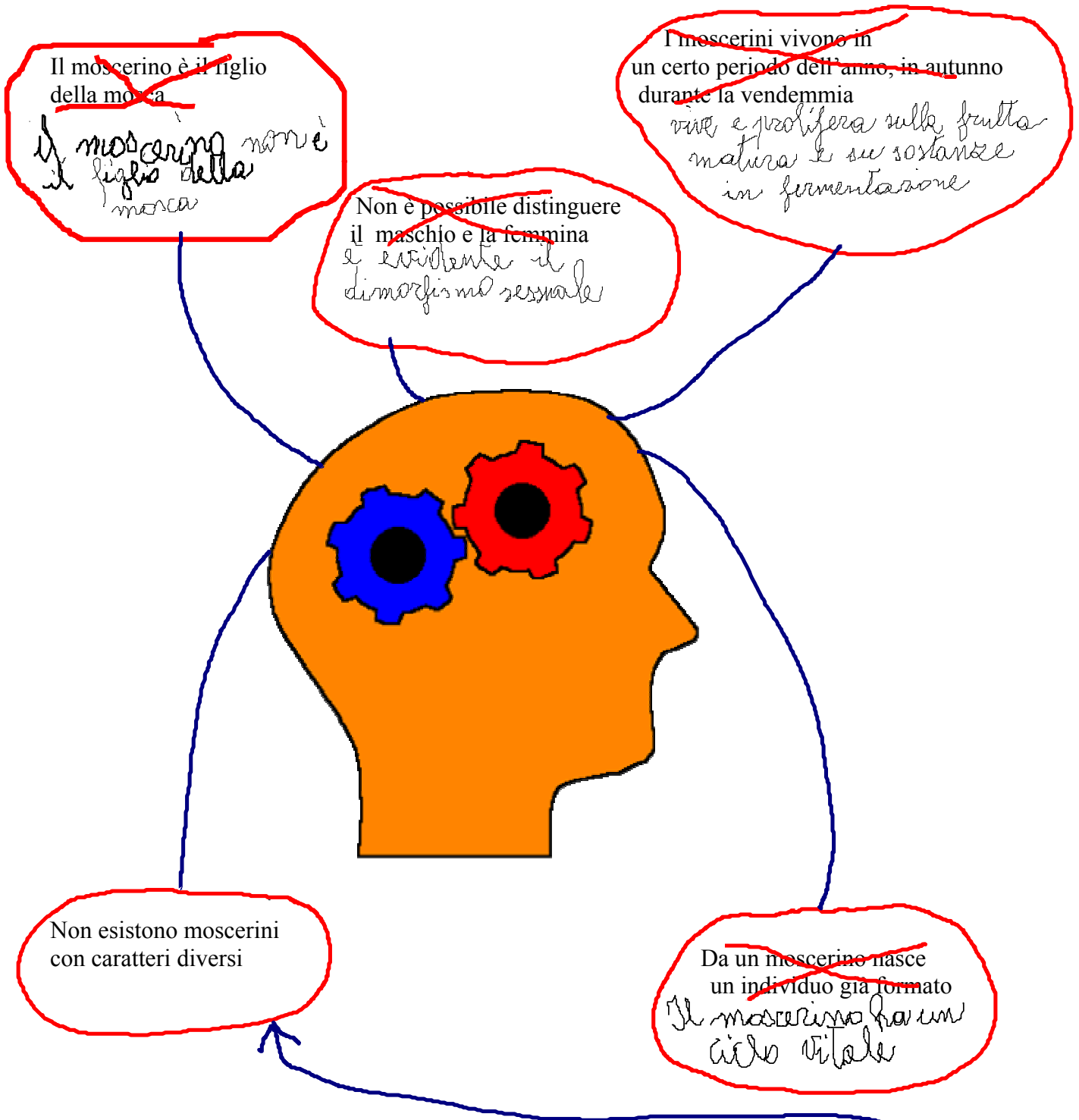


Anche i disegni dei ragazzi sono diventati più precisi e ricchi di particolari che non erano evidenti ad occhio nudo.



In compresenza con la docente di inglese è stata consegnata ai ragazzi una scheda in lingua ed è stato chiesto loro di evidenziare alcuni termini per costruire un piccolo glossario. Per memorizzare e utilizzare, in inglese, alcune parole prettamente scientifiche hanno utilizzato immagini e didascalie.

CHE COSA E' CAMBIATO?



Ora siamo pronti per continuare ed osservare, nelle sue fasi, il ciclo vitale e verificare se

Ho portato in classe un tubo con delle drosophile¹, le ho fatte osservare direttamente allo stereomicroscopio senza addormentarle, e ho chiesto
<notate qualcosa di particolare>

Le risposte sono state le più strane:
- hanno più peli sulle zampe

¹ Le drosophile hanno gli occhi bianchi

- le ali sono azzurrine

- sono solo femmine

Solo dopo continue sollecitazioni ad osservare più attentamente hanno visto che gli occhi erano bianchi.

Nota docente: E' nata una discussione per capire come mai non è "saltato subito agli occhi" questa caratteristica così evidente.

Disarmante è stata la risposta di Ubaldo:

<professoressa, fino ad ora abbiamo osservato sempre drosophile con gli occhi rossi per cui abbiamo pensato che le drosophile hanno solo "occhi rossi">.

Anche la misconoscenza: non esistono moscerini con caratteri diversi, si è dimostrata vera.

Ora possiamo verificare sperimentalmente le leggi di Mendel.

I ragazzi come riferimento teorico conoscono, avendolo studiato:

- il significato di autosoma e di cromosomi sessuali
- il significato di carattere dominante e carattere recessivo
- che i caratteri sono ereditari e seguono le leggi di Mendel
- che i caratteri sono localizzati su una parte di cromosoma chiamata gene
- che alcuni caratteri sono caratteri sessuali

Nel caso della drosophila non sanno qual è il carattere dominante tra occhio rosso ed occhio bianco e che bisogna scoprirlo attraverso gli incroci.

Ma quali sono i possibili incroci?

Ho chiesto di fare le ipotesi tenendo conto di quanto studiato.

Tutti hanno ragionato in questo modo:

1^ ipotesi: **il carattere dominante per il colore degli occhi è il rosso.**

Incrociando drosophile femmine (occhio rosso) con drosophile maschi (occhio bianco) nella prima generazione nascono tutte drosophile con occhi rossi (1^ legge di Mendel).

Incrociando tra loro drosophile della prima generazione, nella seconda generazione ricompare il carattere occhio bianco nel rapporto 3:1 (2^ legge di Mendel).

2^ ipotesi: **il carattere dominante per il colore degli occhi è il bianco.**

Incrociando drosophile femmine (occhio rosso) con drosophile maschi (occhio bianco) nella prima generazione nascono tutte drosophile con occhi bianchi (1^ legge di Mendel).

Incrociando tra loro drosophile della prima generazione, nella seconda generazione ricompare il carattere occhio rosso nel rapporto 3:1 (2^ legge di Mendel).

Nota docente: Tutti hanno ipotizzato un solo tipo di incrocio e non anche il reciproco cioè incrociare femmine con occhi bianchi e maschi con occhi rossi.

Ho chiesto il perché, ribadendo che bisogna effettuarli entrambi, e loro hanno affermato:

<il risultato è sempre lo stesso!>

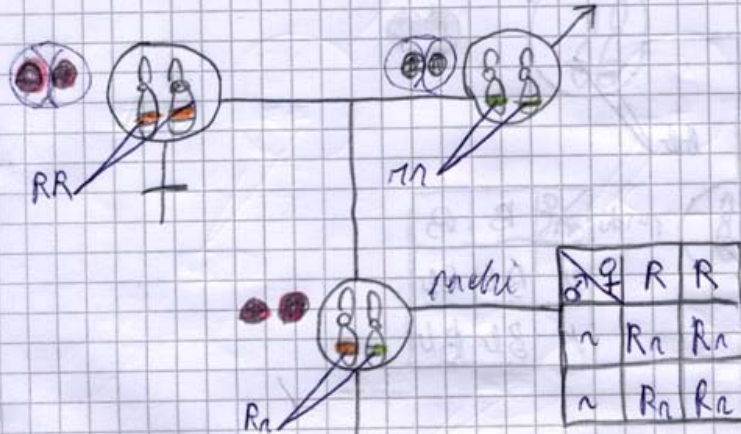
Questa risposta, insieme ai disegni, mi da la conferma che pensano che il carattere "colore degli occhi" si trasmetta per via autosomica.

Sono curiosa di vedere quali spiegazioni daranno osservando i risultati degli incroci.

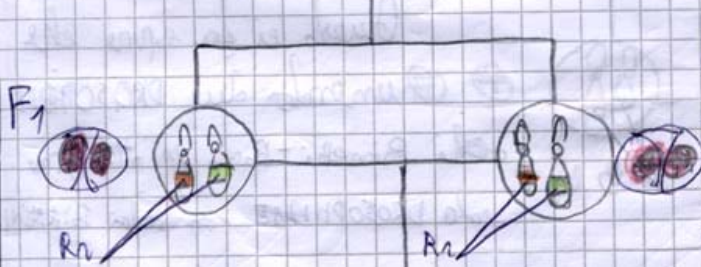
Ipotesi

l'incrocio fra:
 delle DROSOPHILAE con gli occhi rossi femmina
 delle DROSOPHILAE con gli occhi bianchi maschio

IN QUESTO CASO IL CARATTERE DOMINANTE E' **ROSSO**



♀	R	R
♂	r	r
	Rr	Rr
	Rr	Rr



Qui si capisce che quando due Drosophilae occhi rossi e bianchi nella F1 useranno tutti con gli occhi rossi



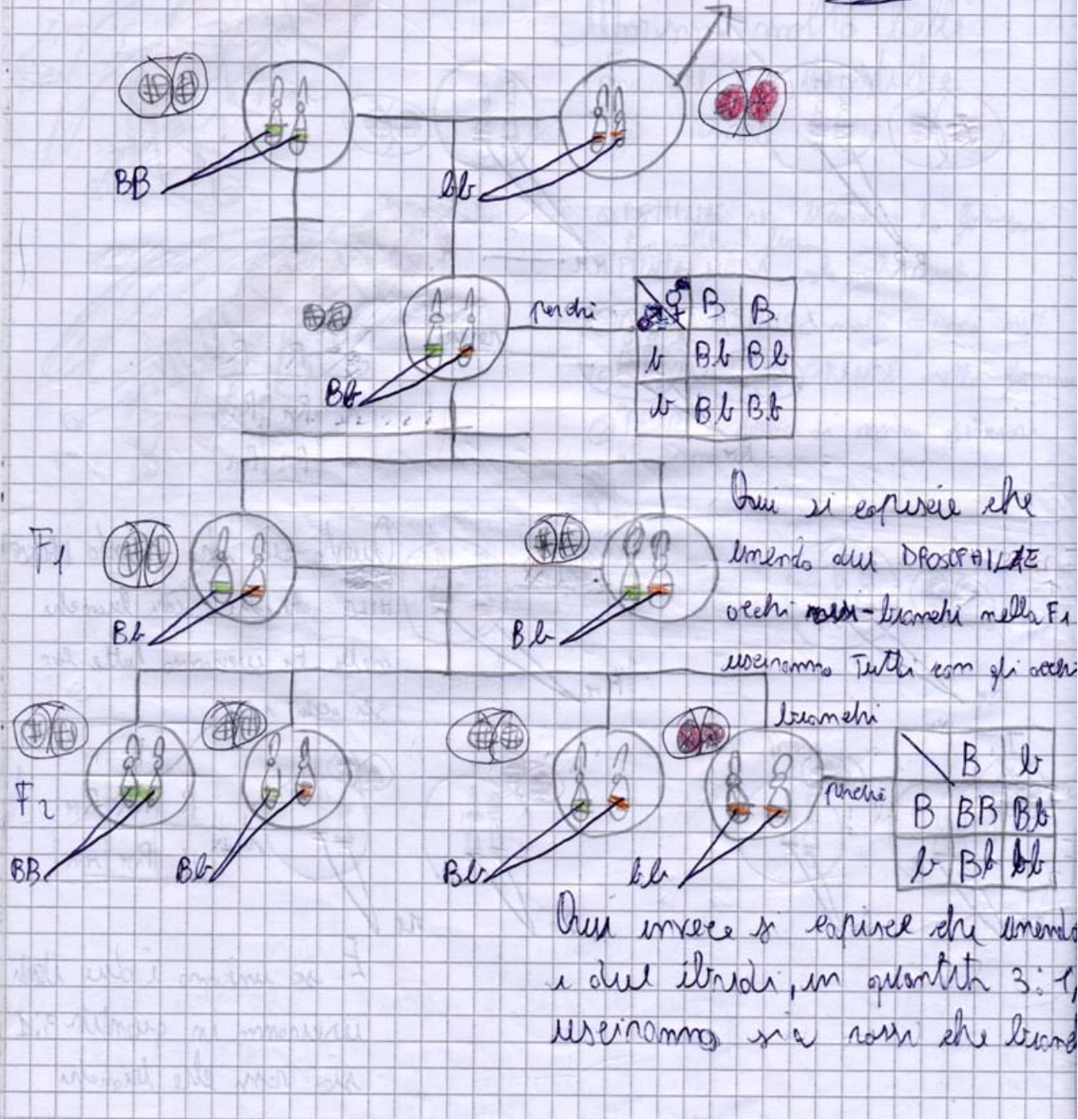
	R	r
R	RR	Rr
r	Rr	rr

Qui si capisce che quando gli ibridi, in quantità 3:1, useranno sia rossi che bianchi

Sperimento l'unione fra:

delle DROSOPHILAE con gli occhi bianchi, zombrina
 delle DROSOPHILAE con gli occhi Rossi, marabio

IN QUESTO CASO IL CARATTERE DOMINANTE È IL BIANCO



8 gennaio 2008 - Verifica sperimentale delle leggi di Mendel – Osservazione ciclo vitale

Per poter verificare le leggi di Mendel, abbiamo iniziato a studiare la trasmissione di un carattere ereditario della *Drosophila melanogaster*, a nostra disposizione, e precisamente *Wild* (colore dell'occhio rosso) indicato con il simbolo w^+ ; e il carattere mutante *white* (colore dell'occhio bianco) indicato con il simbolo w .

Studiare la trasmissione dei caratteri ereditari significa poter dare una risposta alle seguenti domande:

1. I caratteri presi in esame sono dominanti o recessivi?
2. I geni che specificano i caratteri in esame si trovano sui cromosomi sessuali o sugli autosomi?

Riuscire a rispondere a queste domande ci permette di verificare sperimentalmente le leggi di Mendel.

Per fare questo abbiamo allestito alcuni incroci tra i moscerini mutanti (w) e quelli normali (w^+) fino alla seconda generazione (F2).

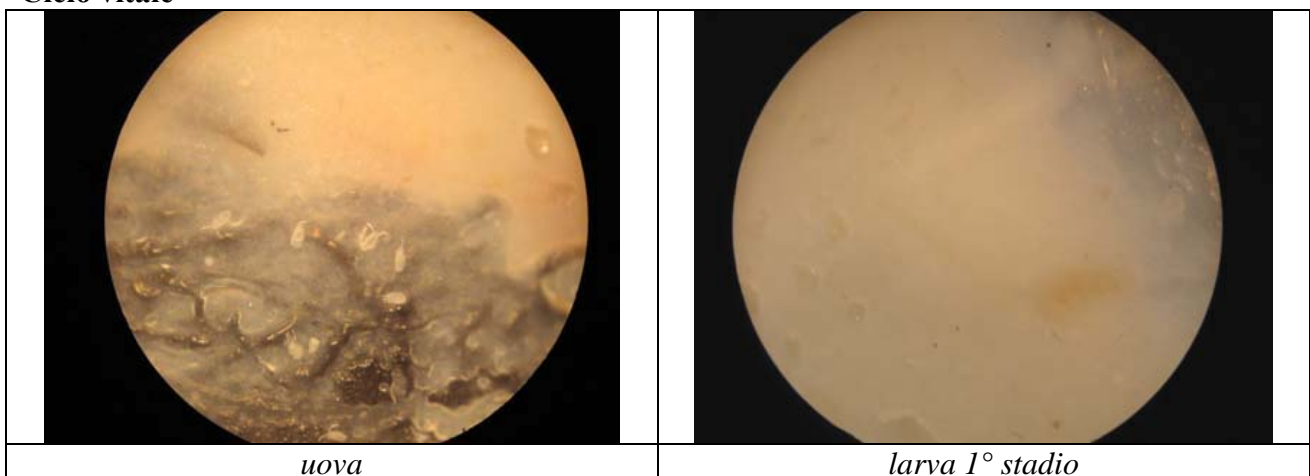
N.B.: tutti gli individui parentali utilizzati negli incroci sono omozigoti (sono stati acquistati dalla scuola Presidio).

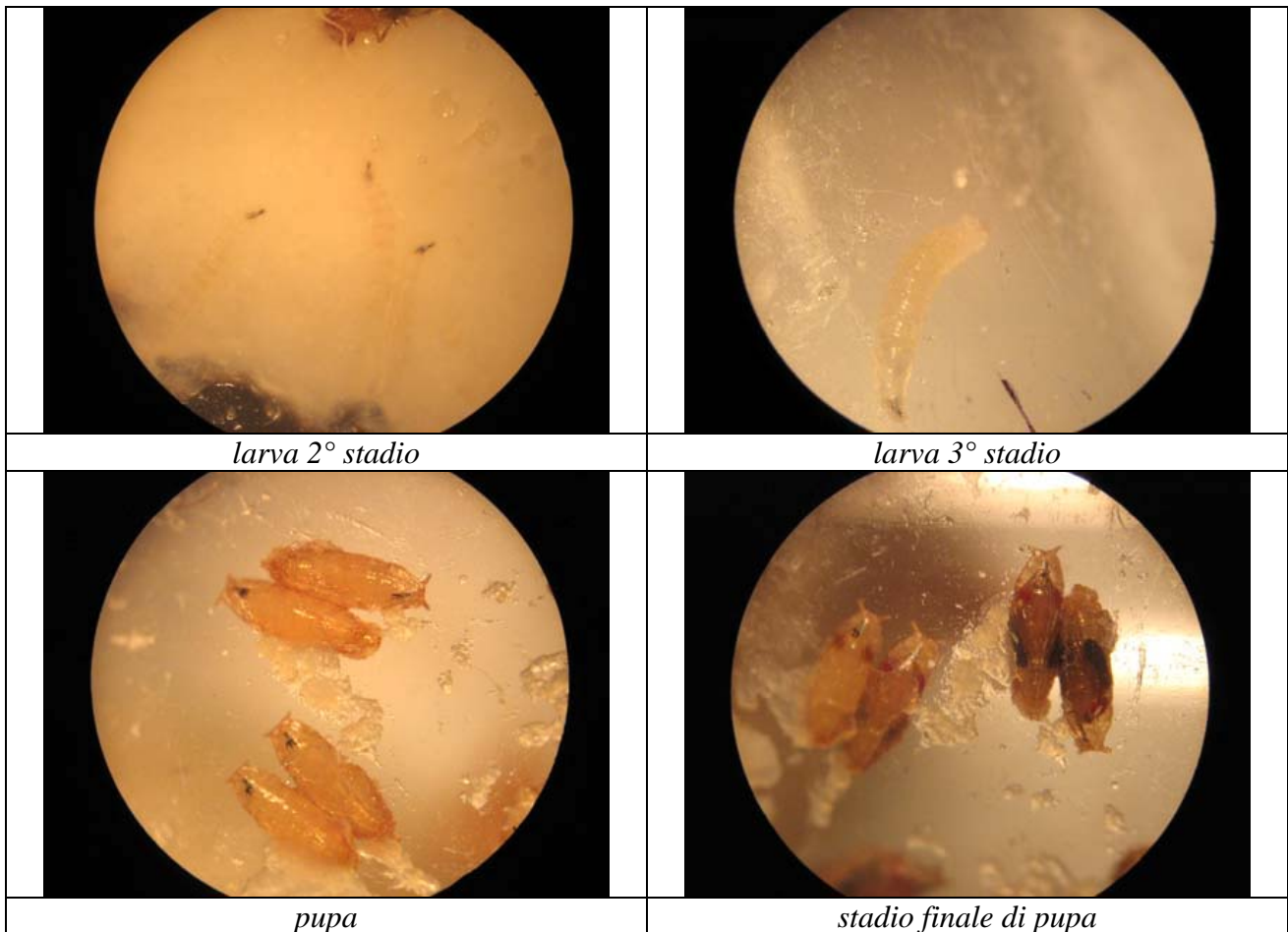
Per avviare gli incroci e ottenere la prima generazione è fondamentale che le femmine siano vergini, perchè devono essere fecondate solo dai maschi che prendiamo in considerazione.

Per poter verificare piano piano i risultati abbiamo iniziato ad incrociare femmine occhi rossi con maschi occhi bianchi mettendo in un tubo con il terreno di crescita 6 maschi e un ugual numero di femmine.

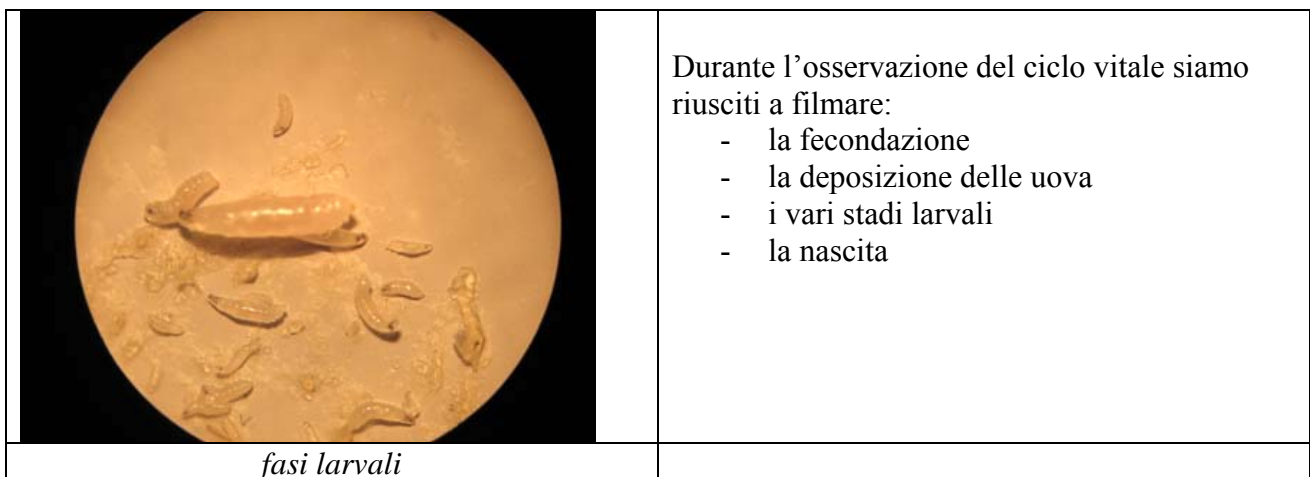
Ogni tre giorni abbiamo travasato le coppie in altri tubi (datati 11-14-17 gennaio) per poter osservare anche il ciclo vitale.

Allo stereomicroscopio abbiamo osservato alcune uova depositate sulle pareti del contenitore. Da queste si sono sviluppate delle larve, che hanno attraversato differenti stadi: nel primo stadio sono trasparenti e sono difficili da individuare. Successivamente le larve diventano più grandi, sono visibili ad occhio nudo e si muovono anche sulle pareti del contenitore. Dopo 7 - 8 giorni dalla deposizione delle uova (i tubi sono stati messi nell'incubatore da noi costruito) è stata osservata la trasformazione delle larve in pupe. Queste, inizialmente di colore marrone chiaro che si scurisce con il procedere dello sviluppo, si possono osservare ad occhio nudo attaccate alle pareti del contenitore. Dopo altri 4 - 5 giorni dal pupario hanno iniziato a sfarfallare le drosophile della prima generazione.

Ciclo vitale



Nota docente: In data 8 gennaio in un tubo sono state messe alcune coppie di drosophile “selvatiche” e non sono state separate per poter osservare allo stereomicroscopio contemporaneamente , prendendo un po’ di pappa tutte le varie fasi del ciclo vitale.



22 gennaio 2008

Esattamente dopo 13-14 giorni (nel tubo datato 8 gennaio) abbiamo ottenute le drosophile figlie della prima generazione.

I ragazzi le hanno osservate prima con la lente d'ingrandimento e poi allo stereomicroscopio e finalmente hanno avuto la conferma che il carattere dominante è il colore degli occhi rossi e quindi verificare la 1^a legge di Mendel.

Anche la F1 dei tubi datati 11 gennaio e 14 gennaio hanno dato lo stesso risultato. Non sono nate le d.m. del 17 gennaio perché il terreno di coltura si è seccato

Legge della dominanza: "Gli individui nati dall'incrocio tra due ceppi puri che differiscono per una coppia di caratteri, presentano tutte uno solo dei due caratteri, quello dominante."

Gli ibridi sono stati travasati in un tubo per poter osservare la seconda generazione (F 2). Contemporaneamente un altro gruppo di ragazzi ha incrociato femmine occhi bianchi (w) con maschi occhi rossi (w^+).

7 febbraio 2008

Stamane l'osservazione della F2 tra ibridi dell'incrocio d.m. femmine occhi rossi e d.m. maschi occhi bianchi ci ha riservato delle sorprese. Infatti ero convinta, insieme ai ragazzi, di non aver la certezza della ricomparsa del carattere recessivo (occhi bianchi) dato che era bassa la probabilità che le d.m. femmine fossero vergini.

Su un totale di 62 d.m., 12 hanno gli occhi bianchi.

Un risultato accettabile.

E' stata pura fortuna?

Ho portato in classe sia la F2 (incrocio tra ibridi) che la F1 dell'incrocio tra d.m. femmine occhi bianchi e d.m. maschi occhi rossi. Ho iniziato a far osservare la F2 per dar loro la certezza che il carattere recessivo ricompare nella seconda generazione e verificare così la seconda legge di Mendel

La soddisfazione è stata grande ma le certezze si sono affievolite quando hanno osservato la F1: le drosophile hanno sia occhi rossi che occhi bianchi nel rapporto 1:1.

E' iniziata una discussione per capire il perché:

Doc. perché le drosophile non hanno tutte gli occhi rossi?

A1: è probabile che non erano razze pure

Doc: possiamo verificarlo?

A2: l'unico incrocio da ipotizzare è tra d.m. femmine omozigote occhi bianchi e d.m. maschi eterozigoti occhi rossi perché il colore occhi bianchi è un carattere recessivo.

♂	R	r
♀	rR	rr
r	rR	rr
r	rR	rr

A3: ci troviamo!

Doc: attenzione, potete dire con esattezza quale sono le drosophile che hanno gli occhi rossi o gli occhi bianchi?

A6: no, possono essere sia femmine che maschi

Doc: osservate di nuovo le d. m. nate. Notate qualcosa di particolare?

A4: solo i maschi hanno gli occhi bianchi

Doc: quindi?

Classe: silenzio

Doc: osservate di nuovo anche le drosophile della F2

A5: anche qua solo i maschi hanno gli occhi bianchi

Doc: quindi?

Classe: di nuovo silenzio.

Doc: ricordate anche le nozioni teoriche che avete studiato, soprattutto come si distinguono i cromosomi

Classe: di nuovo silenzio. POI...

A8: vuoi vedere che il gene per il colore degli occhi si trova sui cromosomi sessuali?

Doc: puoi verificarlo?

A8: si, rifacciamo la tabella a doppia entrata

♀ \ ♂	X^R	Y^0
X^r	$X^r X^R$	$X^r Y^0$
X^r	$X^r X^R$	$X^r Y^0$

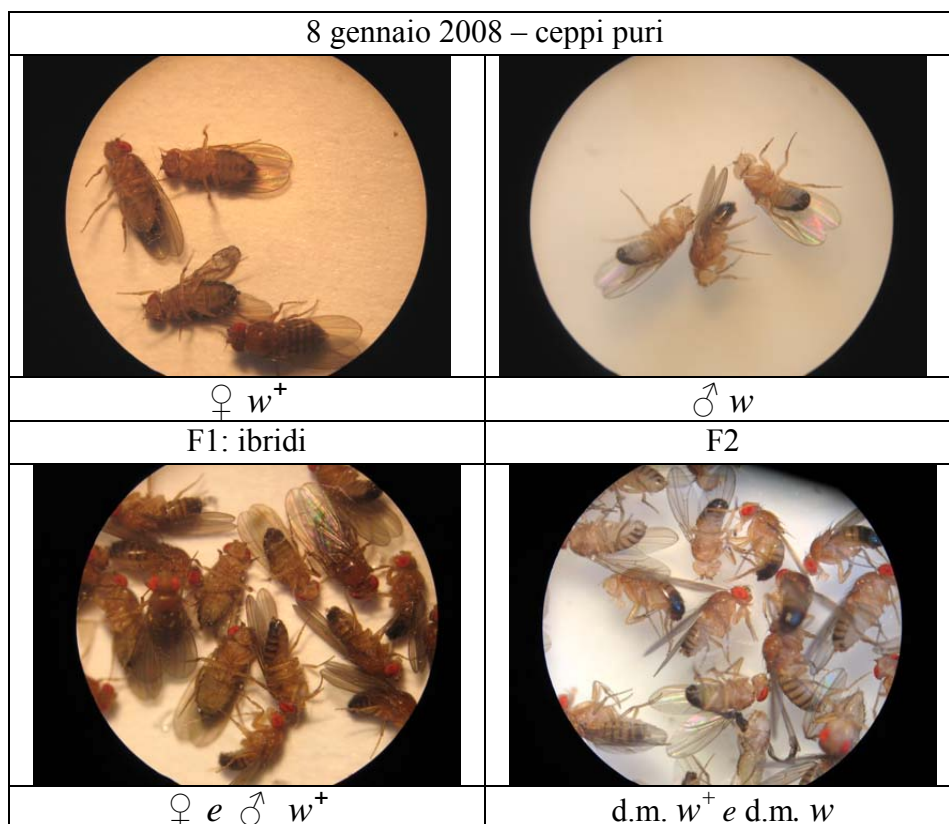
A8: ci troviamo! Quindi il carattere colore degli occhi è legato al sesso.





Morgan per primo osservò e chiamò

- Fenotipi normali o selvatici che erano comuni nella popolazione

- Caratteri alternativi al fenotipo selvatico vengono chiamati fenotipi mutanti

La mutazione "occhio bianco" è presente sui cromosomi sessuali



22 gennaio 2008 – ceppi puri	
	
♀ <i>w</i>	♂ <i>w</i> ⁺
F1: ibridi	
	
♀ <i>w</i> ⁺ e ♂ <i>w</i>	"i nostri incroci"

Raccolta dati

Incroci	F1	F2
8 gennaio '08 6 ♀ w ⁺ e 6 ♂ w	21-22 gennaio '08 d.m. w ⁺ = 16 ♀ = 9 ♂ = 7	6-7 febbraio '08 d.m. = 62 d.m. w ⁺ = 50 d.m. w = 12 ♀ w ⁺ = 35 ♂ w ⁺ = 15 ♂ w = 12
11 gennaio '08 travaso	24-25 gennaio '08 d.m. w ⁺ = 22 12 ♀ e 10 ♂	10-11 febbraio '08 d.m. = 95 d.m. w ⁺ = 72 d.m. w = 23 ♀ w ⁺ = 54 ♂ w ⁺ = 18 ♂ w = 23
14 gennaio '08 travaso	26-27 gennaio '08 d.m. w ⁺ = 23 14 ♀ e 9 ♂	13-14 febbraio '08 d.m. = 105 d.m. w ⁺ = 80 d.m. w = 25 ♀ w ⁺ = 52 ♂ w ⁺ = 28 ♂ w = 25
17 gennaio '08 travaso	Il terreno si è seccato e non sono nate le d.m.	

Incroci	F1
22 gennaio '08 7 ♀ w e 7 ♂ w ⁺	6-7 febbraio '08 d.m. = 105 ♀ w ⁺ = 55 ♂ w = 50
26 gennaio '08 travaso (per avere più d.m. per il conteggio)	11-12 febbraio '08 d.m. = 126 ♀ w ⁺ = 71 ♂ w = 55

Analisi e discussione dei dati

I dati in nostro possesso ci hanno permesso di :

a-verificare il rapporto sessi (unica eccezione è il risultato del 11-12 febbraio).

Infatti, quando si esegue un esperimento in cui i risultati sono legati al caso, come la nascita di individui di sesso maschile o femminile, di solito si ottengono dei risultati che presentano delle deviazioni rispetto a quelli teorici (attesi).

C'è anche da considerare il fatto che nel travaso per addormentarle alcune drosophile "scappano".

b- nella prima generazione filiale (F1) tutti i moscerini hanno gli occhi rossi, ma nella seconda (F2), comparve il classico rapporto mendeliano 3 rossi:1 bianco (unica eccezione la F2 del 6-7 febbraio:le drosophile non erano tutte vergini?)

Questo indica chiaramente che il carattere "occhi bianchi" è un carattere mendeliano recessivo,

c- la mutazione occhi bianchi è presente sui cromosomi sessuali

RIQUADRO 1 – Detto dai ragazzi

< Siamo riusciti a dare una risposta a tutti gli interrogativi che ci eravamo posti >.

< Abbiamo potuto vedere da vicino come si conduce un esperimento scientifico, cioè abbiamo messo in pratica il Metodo Scientifico in tutte le sue fasi: osservazione, formulazione dell'ipotesi, verifica sperimentale, conferma della legge >.

< Abbiamo scoperto da soli la differenza tra maschi e femmine di Drosophila melanogaster >

< Siamo diventati "esperti" nel distinguere un individuo maschio da una femmina, una femmina vergine da una non vergine >.

< Abbiamo osservato il ciclo vitale della Drosophila melanogaster seguendo giorno dopo giorno le varie fasi di sviluppo: uovo, larva, pupa, insetto adulto >.

< Siamo riusciti a filmare tutto il percorso: dalla fecondazione alla nascita >

< Siamo riusciti a comprendere meglio le Leggi della Genetica in modo divertente e piacevole, reso più semplice dalla sperimentazione, dal "fare" >.

< Alcuni caratteri sono presenti anche sui cromosomi sessuali >

< Abbiamo capito che significa eredità legata al sesso, infatti abbiamo verificato sperimentalmente che se in un incrocio la femmina è portatrice di un carattere recessivo ed il maschio no, questo carattere si manifesta solo nei figli maschi >

< Sembra impossibile ma un "piccolo moscerino" ci ha insegnato tante cose >

La valutazione della sperimentazione è stata divisa in due momenti:

1- nella lingua madre sono stati valutati i seguenti obiettivi:

- ✓ A- Distingue i maschi dalle femmine: dimorfismo sessuale
- ✓ B- Conosce le fasi del ciclo vitale
- ✓ C- Conosce le leggi di Mendel

2- nella lingua inglese sono stati valutati i seguenti obiettivi:

- ✓ D- Conosce i termini specifici (risultati del test finale in inglese)
- ✓ E- Comunica in maniera semplice utilizzando i termini specifici

Indicazioni tecniche

Per poter portare avanti questo tipo di sperimentazione abbiamo bisogno di alcune strumentazioni che ci permettano di avere risultati corretti in termini brevi.

Sono necessari:

- ✓ uno stereomicroscopio
- ✓ terreno di cultura (volgarmente: pappa)
- ✓ un “qualcosa “ che addormenti le drosophile per poterle osservare: nei protocolli viene usato l’eterizzatore
- ✓ termostato

TERRENO DI CULTURA

Tre modi per preparare il terreno di cultura per allevare le Drosophile:



Prodotto già pronto in commercio.
Costo abbastanza elevato

Aggiungere acqua al prodotto a cui è stato unito del lievito in granelli



Preparato per purea di patate – lievito-
Nipagina (antimuffa)
Costo minimo

Mescolare il purè di patata con acqua calda a cui è stato aggiunto un po’ di lievito e un cucchiaino di nipagina.



Farina di mais – lievito –
Nipagina (antimuffa)
Costo minimo

Far cuocere per qualche minuto la farina di mais con acqua zuccherata; aggiungere un po’ di lievito e un cucchiaino di nipagina. Lasciar raffreddare (questo tipo di terreno tende a indurirsi)

La nipagina la si trova in farmacia, 250g costa 15 euro.

Abbiamo testato i tre terreni e in tutti e tre i casi abbiamo avuto risposta positiva da parte delle drosophile.

ETERIZZATORE

Anche in questo caso abbiamo messo a confronto tre modi diversi per addormentare le drosophile usando sempre del "materiale povero"



Il nostro eterizzatore è formato da un barattolo con un tappo di sughero avvolto da ovatta.

Vantaggi: la narcosi è immediata e duratura (media 15 minuti)

Svantaggi: se si eccede con l'etere non tutte le drosophile si risvegliano.
(Alcune drosophile sono morte dopo un paio di giorni. C'è un nesso con l'etere????)



Le drosophile si addormentano anche con l'anidride carbonica (reazione tra bicarbonato ed aceto).

La narcosi avviene più lentamente e dura di meno (massimo 5 minuti)



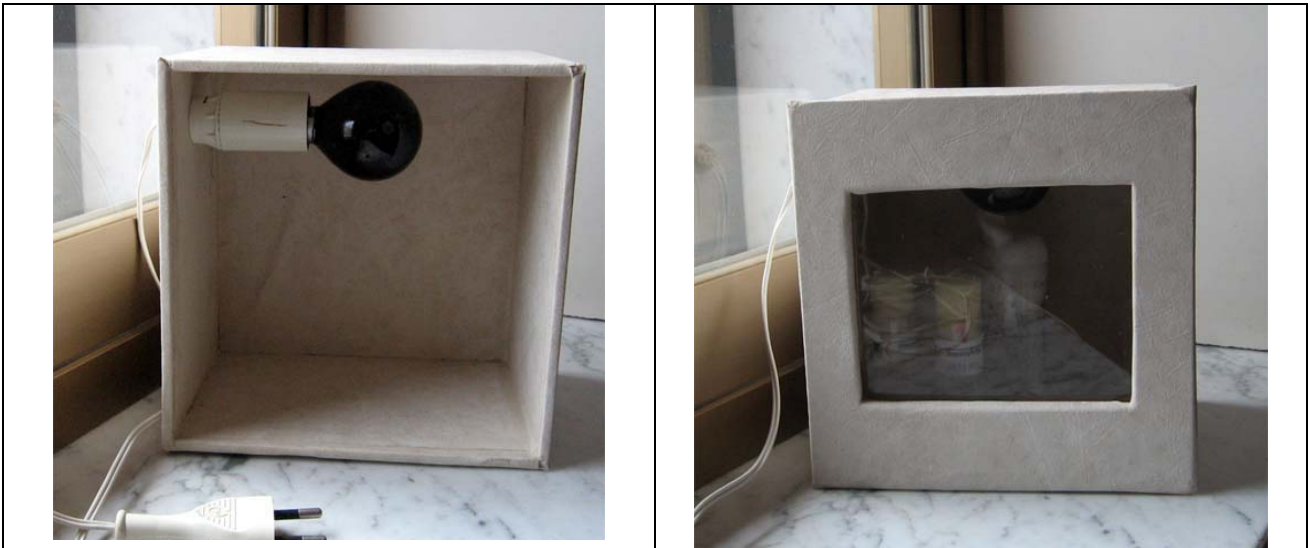
Si può usare anche il ghiaccio.

Immergere i tubi capovolti nel ghiaccio per alcuni minuti. E' importante capovolgere i tubi così le drosophile quando si addormentano non vengono a contatto con il terreno di cultura a cui potrebbero aderire.

Anche in questo caso la narcosi è di brevissima durata.

TERMOSTATO

Per velocizzare i tempi di osservazione (il ciclo vitale dura circa 12 giorni alla temperatura di 24-25°C) abbiamo costruito un termostato



Il nostro termostato si basa sul principio che una lampadina accesa emana calore. Ma la lampadina emette anche luce che, nel nostro caso, avrebbe alterato il ritmo giorno-notte. Cosa fare?

Abbiamo colorato di nero la lampadina.

NOTA: la costruzione del “termostato” è stata preceduta da una lezione relativa alle norme di sicurezza da adottare nel laboratorio e in aula.

Il termostato da noi costruito non viene lasciato a scuola (è da me custodito a casa).