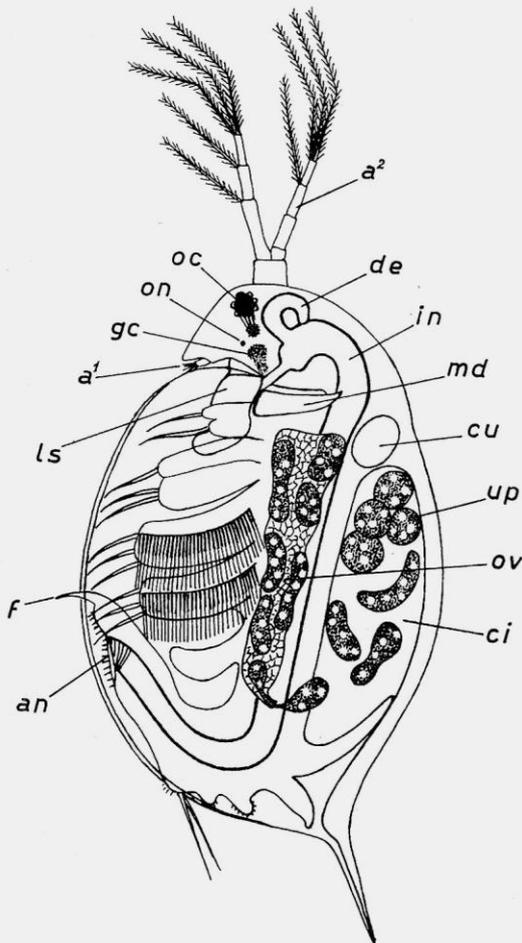


FULVIO ZAFFAGNINI

LE «PULCI D'ACQUA»



1) Femmina di *Daphnia magna* mentre sta deponendo le uova partenogenetiche nella camera incubatrice. a¹, prime antenne antennule; a², seconde antenne; an, ano; ci, camera incubatrice; cu, cuore; de, diverticolo epatico; f, furca; gc, ganglio cerebrale; in, intestino; ls, labbro superiore; md, mandibola; oc, occhio composto; on, occhio naupliare; ov, ovario; up, uova partenogenetiche. 24 x.

Andando a fare delle gite fuori città è facile imbattersi in piccole raccolte di acqua temporanee o permanenti (maceri, stagni, pozze, laghetti), che spesso attirano la nostra attenzione per la loro vegetazione e per i bei colori che il cielo vi suscita con i suoi riflessi. Questi specchi d'acqua sono abitati da molti animali appartenenti a vari gruppi zoologici, dei quali ci sono particolarmente noti i più grossi ed i più mobili, come i pesci, le rane, le larve degli Insetti e gli Insetti adulti. Ma avete mai pensato alla miriade di piccoli organismi che pullulano dentro l'acqua? Fra questi primeggiano le «pulci d'acqua».

Le pulci d'acqua, così chiamate per una vaga rassomiglianza con le pulci, sono dei piccoli Crostacei appartenenti all'ordine dei Cladoceri, denominazione originata dal fatto che tali animali hanno le seconde paia di antenne a forma di ramoscello per mezzo delle quali si spostano nell'acqua. Fra le diverse specie di pulci d'acqua molto comuni sono *Daphnia pulex* e *Daphnia magna*, quest'ultima così chiamata per le sue grandi dimensioni, poiché la femmina può raggiungere e superare 5 mm di lunghezza! Ed è di questa specie che noi parleremo, essendo abbastanza frequente nelle raccolte d'acqua dei dintorni di Bologna.

Fra le caratteristiche esterne più salienti di una *Dafnia* possiamo ricordare il voluminoso occhio composto e le due paia di antenne situati nel capo, e le due pieghe laterali del carapace che ricoprono il resto del corpo, detto tronco, il quale anteriormente è munito di 5 paia di arti lamellari e posteriormente si incurva ven-

tralmente terminando con due unghioni (furca) (fig. 1). La raccolta delle Dafnie non presenta difficoltà; basta munirsi di un retino a maglie fitte e muoverlo orizzontalmente o verticalmente nell'acqua. Presto nel fondo del retino si raccoglierà una massa scura che, riversata in un recipiente d'acqua, si risolverà in una enorme quantità di Dafnie.

Ponetene una su un vetrino con poca acqua accioccché poggi di lato e non possa nuotare ed osservatela al microscopio. Un mondo nuovo ed inimmaginabile vi si schiuderà! Attraverso la parete abbastanza trasparente del corpo voi potete osservare l'organizzazione del piccolo essere e molte delle sue attività vitali.

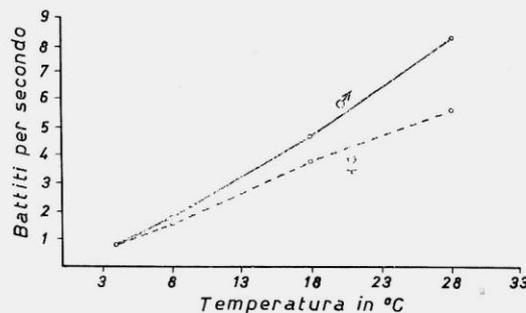
La prima cosa che colpisce l'attenzione è il veloce battito del cuore. La frequenza cardiaca varia a seconda delle caratteristiche individuali (età, sesso) ed a seconda delle condizioni ambientali (temperatura, alimentazione, affollamento, composizione chimica dell'acqua, ecc.) (bibl. 4). Un esempio di queste variazioni è riportato nei grafici delle figg. 2 e 3: i numeri posti sulle ordinate rappresentano i valori medi del battito cardiaco di più individui. Tali valori sono indicati per secondo; se voi li riportate al minuto vedrete subito la maggiore rapidità del battito del cuore di una Dafnia rispetto a quello dell'uomo. Le Dafnie sono molto sensibili alla presenza di sostanze estranee nell'acqua e la loro prima reazione è quella di rallentare il battito del cuore. Un'esperienza molto facile a farsi ed altrettanto istruttiva è quella di aggiungere, in opportune dosi, una qualsiasi sostanza all'acqua contenente gli animali e vedere il suo effetto sulla frequenza del battito cardiaco.

Il sangue (emolinfa) viene aspirato nel cuore attraverso due ostii e spinto in avanti entro un'aorta anteriore, che lo immette nel lacune del corpo (emocele). Ad un attento esame è possibile osservare al microscopio il movimento delle cellule del sangue (linfociti) nel torrente circolatorio.

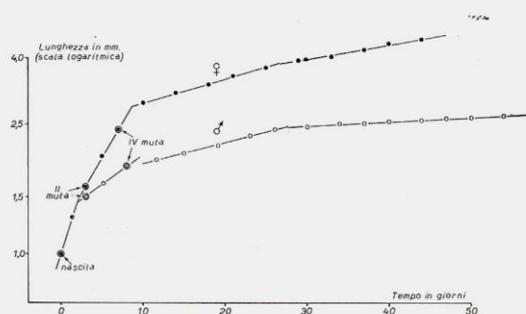
Una caratteristica molto interessante del sangue delle Dafnie è che esso contiene disciolta una emoglobina (eritrocruorina). Questa è scarsa quando l'acqua è ricca di ossigeno, ma aumenta considerevolmente se l'acqua è povera di ossigeno, cosicché



2) Frequenza del battito cardiaco di *Daphnia magna* in funzione dell'età degli animali a 18° C. La frequenza del battito cardiaco alla nascita è bassa e quasi uguale in entrambi i sessi, raggiunge il suo massimo a circa 8 giorni di età (maturità sessuale), poi diminuisce dapprima velocemente ed in seguito lentamente. La frequenza del battito cardiaco dei maschi è quasi sempre superiore a quella delle femmine. (da MacArthur e Baille, 1929)



3) Effetto della temperatura sulla frequenza del battito cardiaco nei maschi e nelle femmine di *Daphnia magna*. La frequenza aumenta considerevolmente con l'aumento della temperatura, ma in maniera molto più marcata nei maschi che nelle femmine. (da MacArthur e Baille, 1929)



4) Accrescimento in lunghezza di un singolo individuo maschile e femminile di *Daphnia magna* in funzione dell'età a 19° C. (da Zaffagnini, 1965)

l'animale da un colore pallido passa ad un colore rosa fino ad una tinta rossastra accesa (1). Se si pone una Dafnia molto rossa in acqua ben areata si vede che nello spazio di una quindicina di giorni essa diviene pallida, perché ha eliminato la maggior parte dell'emoglobina ora divenuta superflua. Cosa ancora più interessante è che l'emoglobina non si trova solo nel plasma sanguigno, ma anche nei muscoli e perfino nei gangli nervosi, dove subisce le stesse variazioni quantitative viste nel sangue in rapporto al contenuto in ossigeno della acqua (bibl. 1).

L'alimentazione

Il nutrimento delle Dafnie è costituito da particelle alimentari o da microorganismi (batteri ed alghe unicellulari). Le 5 paia di zampe determinano con il loro movimento una corrente d'acqua, che viene filtrata dalle numerosissime setole del 3° e del 4° paio. L'alimento prelevato dall'acqua viene poi convogliato alla bocca; esso viene scelto unicamente in base alle dimensioni (bibl. 5).

L'allevamento delle Dafnie è abbastanza facile, occorre solo avere delle piccole avvertenze. Nelle città, come Bologna, in cui viene adoperato il cloro per rendere potabile l'acqua, bisogna raccogliere la acqua in natura, perché il cloro oltre ad un'azione battericida, ha anche effetti tossici sulle Dafnie. L'elevata sensibilità di questi animali ha fatto sì che essi vengano utilizzati per rilevare la presenza e determinare la quantità dei residui di anti-parassitari nella frutta in base al quoziente di mortalità. L'acqua deve essere rinnovata ogni 2-3 giorni per evitare l'accumulo di prodotti catabolici. Come alimento, se non si hanno a disposizione colture di alghe unicellulari (ad es. *Chlorella*), possono essere utilizzati il lievito di birra o il latte in polvere opportunamente dosati acciòché non avvengano fenomeni fermentativi dannosi agli animali, oppure acqua di allevamento di pesci d'acquario che spesso è verdastra per la presenza di alghe.

(1) Talvolta le Dafnie hanno un colore arancione per la presenza di un pigmento carotenoidale nelle cellule grasse.

L'accrescimento

Le Dafnie, come tutti gli Artropodi, hanno la parete del corpo rivestita da una cuticola chitinoso, che viene periodicamente rinnovata mediante la muta. Subito dopo la muta, prima che la nuova cuticola si indurisca, l'animale aumenta le proprie dimensioni talvolta in maniera notevole, cosicché l'accrescimento si realizza con discontinuità. E' possibile seguire l'accrescimento dell'animale misurando la lunghezza del corpo dopo ogni muta (2) e costruendo dei diagrammi cartesiani in cui sull'asse delle ascisse si pone il tempo e sull'asse delle ordinate la lunghezza. In tal modo si otterrà una curva sigmoide; se invece dei valori della lunghezza si adoperano i logaritmi di tali valori si ottiene una linea spezzata come quella della fig. 4, ma i risultati non cambiano. Tale curva fa vedere come l'accrescimento sia all'inizio, cioè subito dopo la nascita, assai rapido e come poi rallenti progressivamente. Il punto di flessione della curva corrisponde alla maturità sessuale, vale a dire nel caso delle femmine alla prima deposizione delle uova nella camera incubatrice e nel caso dei maschi alla presenza di spermatozoi nei testicoli e al completo sviluppo dei caratteri sessuali secondari. Per avere un'idea della velocità di accrescimento di una femmina di *Daphnia magna* prima del raggiungimento della maturità sessuale (cioè nel periodo preadulto), basta pensare che alla nascita essa misura circa 1 mm di lunghezza e che raggiunge la lunghezza di circa 2,5 mm (la metà della sua lunghezza massima) in 6-8 giorni alla temperatura di 19° C. Il grafico della fig. 4 mostra anche che i maschi seguono lo stesso andamento accrescitivo delle femmine, però, pur avendo le stesse dimensioni alla nascita, si accrescono via via di meno. In entrambi i sessi nel periodo preadulto le mute si susseguono a distanza progressivamente maggiore (in genere si verificano 4-5 mute prima della maturità sessuale); nel periodo adulto l'intervallo fra una muta e l'altra si stabilizza intor-

(2) Le misure si effettuano al microscopio binoculare utilizzando un oculare micrometrico od anche semplicemente ponendo un pezzo di carta millimetrata sotto il vetrino ed illuminando l'animale con luce incidente.

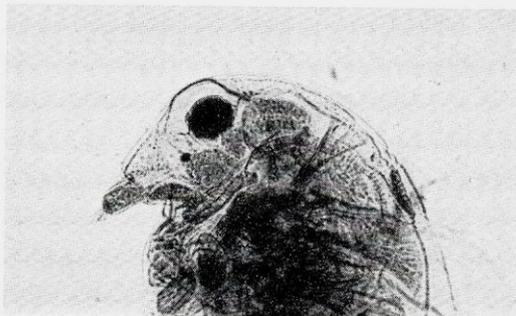
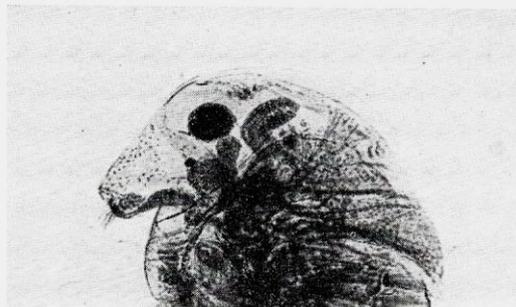
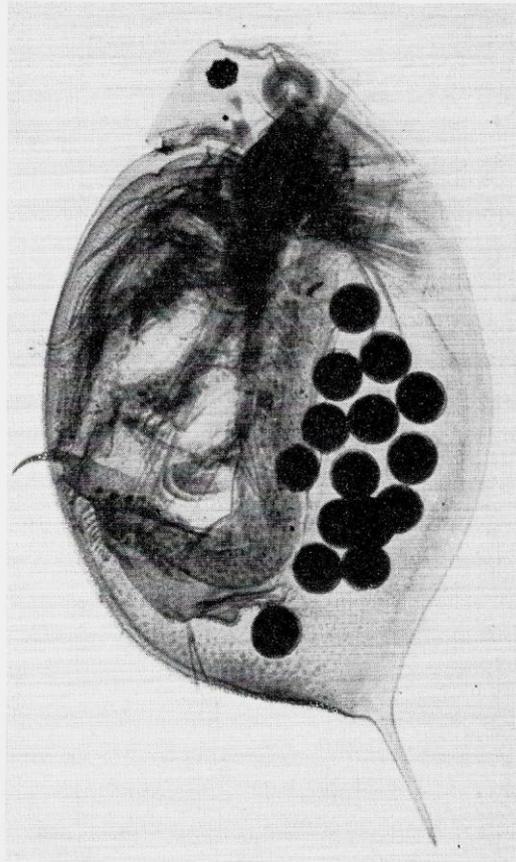
no a 3-4 giorni alla temperatura di 19° C (bibl. 8).

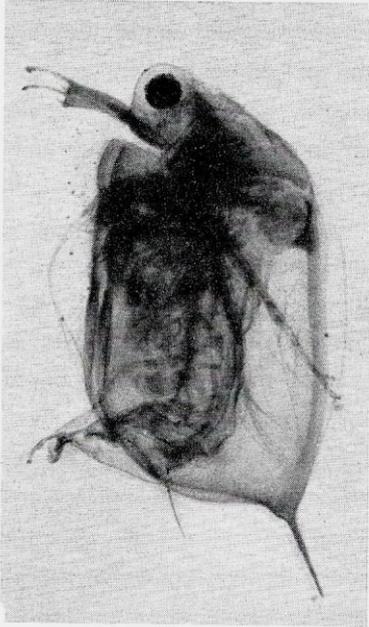
Quando si analizza il ritmo accrescitivo di una *Daphnia*, così come qualsiasi altra sua manifestazione vitale, bisogna sempre tener conto della temperatura dell'acqua. Un aumento della temperatura favorisce un più attivo metabolismo; un abbassamento della temperatura, al contrario, lo rallenta. Abbiamo visto in precedenza l'influsso della temperatura sulla frequenza del battito cardiaco; vediamo ora quella sulla velocità dell'accrescimento. Se si pongono le *Daphnie* di un medesimo parto in due recipienti separati posti in due diversi ambienti (uno caldo ed uno freddo) è facile vedere che le *Daphnie* tenute al freddo si accrescono con un ritmo più lento di quelle tenute al caldo e ciò è determinato dal fatto che l'intervallo fra una muta e l'altra aumenta sensibilmente. Se si dispone di più recipienti tenuti a differenti temperature è possibile costruire delle curve di accrescimento in funzione della temperatura.

L'effetto della temperatura dell'acqua sulla velocità di accrescimento di traduce anche in una influenza sulla durata della vita. I due fenomeni sono collegati fra loro da un rapporto inverso, poiché man mano che l'accrescimento diviene più lento per l'abbassamento della temperatura, la durata della vita proporzionalmente si allunga. In particolare è stato visto che la durata media della vita di *Daphnia magna* per entrambi i sessi è di 25 giorni a 28° C, di 41 giorni a 18° C, di 87 giorni a 10° C e di 108 giorni a 8° C (bibl. 3).

La riproduzione partenogenetica

Le *Daphnie* si riproducono normalmente per partenogenesi, cosicché in una raccolta di tali animali, come in un allevamento, è facile trovare solo delle femmine. Queste, una volta raggiunta la maturità sessuale, depongono periodicamente un certo numero di uova partenogenetiche nella parte dorsale del carapace, che funziona da camera incubatrice (fig. 5). Qui le uova partenogenetiche, dette anche subitane, si sviluppano dando origine, in capo a 3-4 giorni (a 19° C), a nuove femmine che vengono liberate nell'acqua circostan-





5) Femmina adulta di *Daphnia magna* con uova partenogenetiche nella camera incubatrice. Sono state tolte le seconde antenne. 30 x.

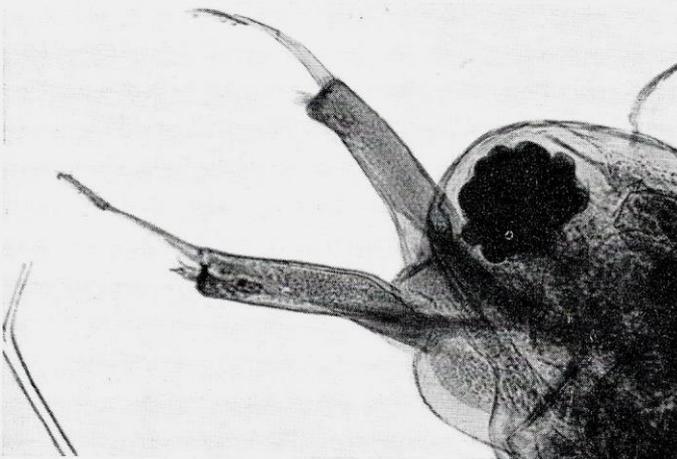
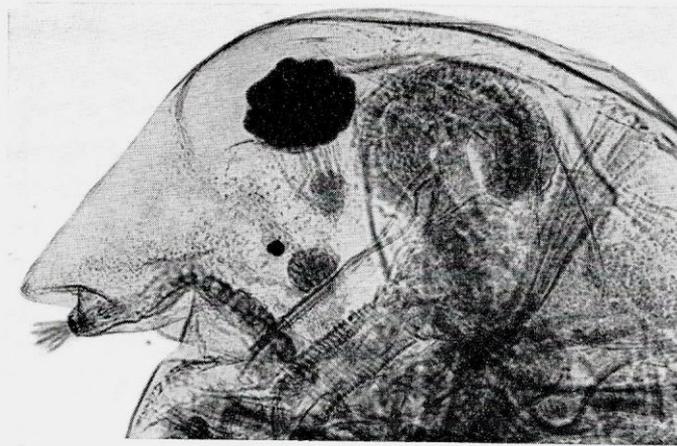
6) Capo di femmina di *Daphnia magna* alla nascita. 96 x. (da Zaffagnini, 1965)

7) Capo di maschio di *Daphnia magna* alla nascita. 96 x. (da Zaffagnini, 1965)

8) Maschio adulto di *Daphnia magna*. 30 x.

9) Capo di femmina adulta di *Daphnia magna*. 96 x.

10) Capo di maschio adulto di *Daphnia magna*. 96 x.



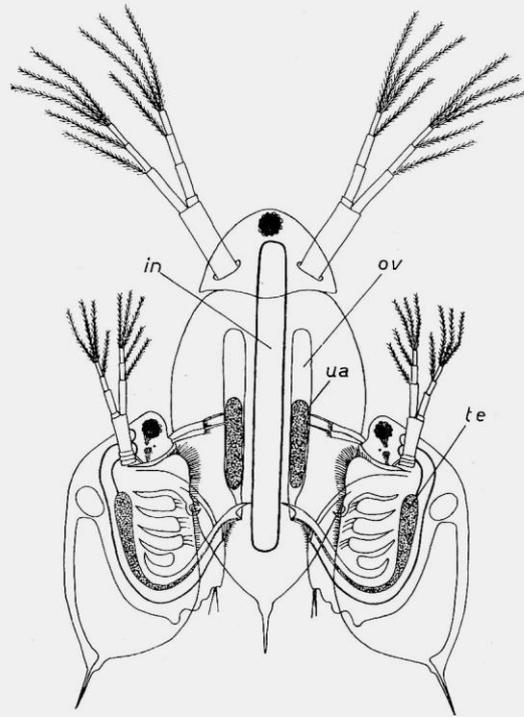
te. La deposizione delle uova e la liberazione dei piccoli avvengono in vicinanza di una muta della madre: la deposizione delle uova si verifica subito dopo la muta, mentre la fuoriuscita dei figli avviene poco prima della muta. La successione di questi fenomeni in una femmina adulta in piena attività riproduttiva è la seguente: muta - deposizione delle uova nella camera incubatrice - sviluppo delle uova - fuoriuscita dei piccoli - muta - deposizione delle uova - ecc.

La liberazione dei giovani è facilmente osservabile anche nel recipiente, mentre per vedere la deposizione delle uova occorre un po' di attenzione. Isolata una femmina con ovari maturi, che si presentano sotto forma di due masse allungate di colore verde-cupo ai lati dell'intestino, si aspetta che essa muti. Il proces-

so della muta è abbastanza rapido e pertanto è necessario un occhio esercitato per coglierlo, tuttavia ci si accorge che la muta è avvenuta per la presenza della spoglia sul fondo del recipiente e per il fatto che l'animale è aumentato di dimensioni ed è divenuto pallido. Si pone allora la Daphnia sopra un vetrino e la si osserva con pazienza al microscopio. Dopo 10-15 minuti dalla muta la femmina depone le uova ed il processo, abbastanza rapido, si svolge come è rappresentato nella fig. 1. Le uova, una dopo l'altra, passando attraverso lo stretto ovidotto, si deformano, ma giunte nella camera incubatrice assumono ben presto una forma sferoidale.

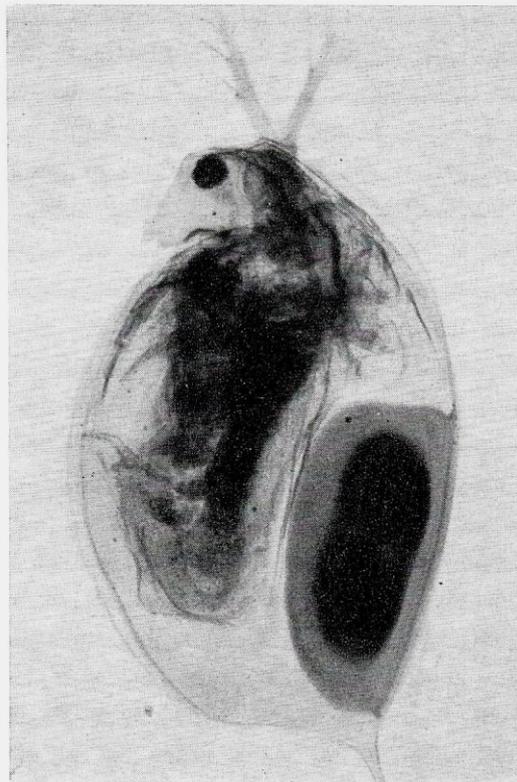
Abbiamo precedentemente ricordato che una Daphnia è capace di deporre le prime uova (a 19° C) dopo 6-8 giorni dalla nascita. Queste sono generalmente in nu-

mero di 12-14, ma nelle deposizioni successive il numero dapprima aumenta considerevolmente, poi si mantiene più o meno stazionario ed infine diminuisce negli animali di età più avanzata. Il numero delle uova deposte varia quindi con l'età della femmina, ma varia anche da individuo ad individuo e dipende in larga misura dalle condizioni ambientali, principalmente dalla disponibilità dell'alimento. E' stato segnalato un caso eccezionale di una femmina di *Daphnia magna* che aveva deposto in una sola volta 105 uova e in tutta la sua vita 1072 uova! (bibl. 2). Normalmente, però, il numero delle uova deposte è molto inferiore anche in animali ben nutriti, tuttavia è sempre ragguardevole. Un esperimento semplice e dimostrativo è quello di isolare la femmina e vedere dopo un mese quanti individui sono nati e di questi quanti hanno uova od embrioni nella camera incubatrice. Ci si renderà subito conto della rapidità con cui vengono popolate le raccolte d'acqua in condizioni ambientali favorevoli.

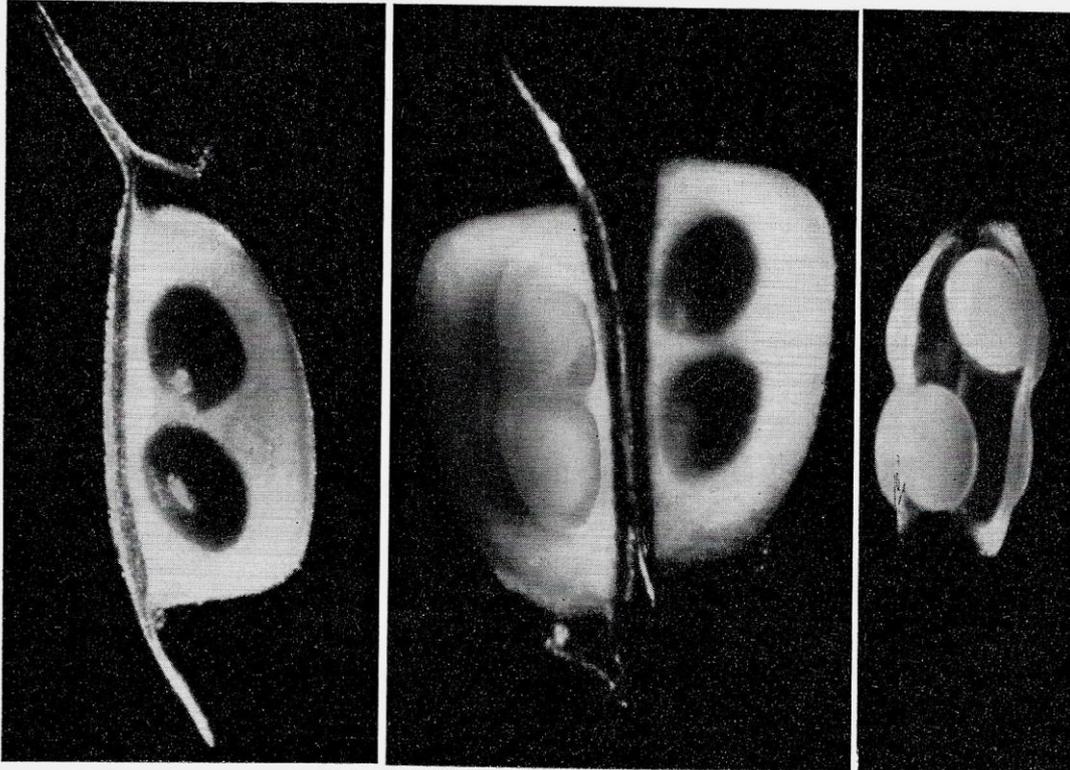


11) Rappresentazione schematica dell'accoppiamento in *Daphnia magna*.
in, intestino; ov, ovario; te, testicolo; ua, uovo anfigonico.

12) Femmina adulta di *Daphnia magna* con un efippio completamente formato contenente due uova anfigoniche fecondate. 30 x.



Ad un certo momento, in una popolazione di Dafnie o in un allevamento, per cause che sono state a lungo studiate ma non ancora sufficientemente chiarite, alcune o tutte le uova partenogenetiche di una covata invece di dare origine a femmine si sviluppano in maschi. Alla nascita i maschi sono quasi simili alle femmine, distinguendosi da esse per due soli caratteri, uno dei quali, facilmente osservabile, è costituito dalle maggiori dimensioni e dalla mobilità delle prime antenne (antennule) (figg. 6 e 7). Col procedere dello sviluppo i maschi si differenziano sempre più dalle femmine non solo per la minore grandezza corporea, come abbiamo visto nel grafico della fig. 4, ma soprattutto per la diversa forma del corpo (fig. 8). Mediante le 4-5 mute che intervengono nel periodo preadulto si sviluppano tutti i ca-



13) Efippio di *Daphnia magna*. 41 x. (da Zaffagnini, 1964)

14) Efippio di *Daphnia magna* con i due lati della parete esterna divaricati per mettere in evidenza la parete interna contenente le due uova anfigoniche fecondate. 41 x. (da Zaffagnini, 1964)

15) Parete interna dell'efippio semiaperta per lasciar vedere le due uova anfigoniche. 41x. (da Zaffagnini, 1964)

ratteri sessuali secondari maschili, cosicché, se ci si limita a considerare solo il capo, appare evidente la maggiore grandezza dell'occhio, la caratteristica struttura delle antennule e la diversa forma del capo del maschio (figg. 9 e 10). Confrontando le figg. 9 e 10 con le figg. 6 e 7, risalta immediatamente l'enorme aumento di dimensioni degli individui adulti rispetto ai neonati, ma si può anche osservare che nella femmina la forma del capo e la struttura delle antennule non sono sostanzialmente mutate, mentre nel maschio si sono modificate considerevolmente (bibl. 7).

La riproduzione anfigonica

Le stesse cause che determinano la comparsa dei maschi fanno sì che un certo numero di femmine o tutte, invece di produrre delle uova partenogenetiche, formino delle uova anfigoniche. Bisogna però

subito far notare che la comparsa dei maschi e la formazione delle uova anfigoniche sono due fenomeni fra loro indipendenti, cosicché si può avere la produzione di uova anfigoniche in assenza di maschi e viceversa. Le uova anfigoniche hanno dimensioni maggiori ed una struttura diversa da quelle partenogenetiche. Inoltre, mentre quest'ultime sono molto numerose e si sviluppano subito senza fecondazione, le uova anfigoniche sono soltanto due (uno per ovario) e si sviluppano, previa fecondazione, dopo un periodo di riposo, per cui sono anche dette uova durature. L'accoppiamento avviene poco dopo che la femmina ha mutato e si realizza come è raffigurato nella fig. 11. Uno o due maschi si pongono a lato della femmina, afferrano il margine del suo carapace con l'uncino del primo paio di zampe ed inarcando considerevolmente il tronco applicano il loro organo copulatore all'apertura dell'ovidotto. La feconda-

zione quindi è interna e se l'uovo anfigonico non viene fecondato, appena è passato nella camera incubatrice degenera ed i suoi residui vengono tosto eliminati all'esterno.

Quando l'uovo anfigonico ha raggiunto una certa dimensione nell'ovario⁽³⁾, la parte dorsale del carapace corrispondente alla camera incubatrice, invece di formare la normale cuticola, elabora una struttura caratteristica chiamata efippio. L'efippio, quindi, è una conseguenza della produzione delle uova anfigoniche. Esso è costituito da due pareti ed inizialmente è tenero, chiaro, abbastanza trasparente; poi, dopo che in esso sono state deposte le uova anfigoniche, la parete esterna si indurisce e successivamente si inscurisce, assumendo un colore marrone di varia intensità (fig. 12). L'efippio viene eliminato mediante una muta, attaccato alla spoglia dell'animale dalla quale si distacca facilmente. La successione dei fenomeni qui descritti è in sintesi la seguente: comparsa dell'uovo anfigonico nell'ovario — muta materna — proseguimento dell'accrescimento dell'uovo anfigonico — formazione dell'efippio sotto la vecchia cuticola — muta materna con messa in evidenza dell'efippio — deposizione delle uova anfigoniche nell'efippio — indurimento ed inscurimento della parete esterna dell'efippio — muta materna con eliminazione dell'efippio.

Gli efippi che si rinvergono sul fondo del recipiente hanno l'aspetto mostrato nella fig. 13: essi posseggono da ciascun lato due convessità più scure entro le quali sono alloggiati le due uova anfigoniche. Per mezzo di due sottili aghi da dissezione e lavorando al microscopio è possibile aprire l'efippio divaricando i due lati della spessa parete esterna e mettere in evidenza la sottile parete interna (fig. 14). Discostando anche i due lati della parete interna si liberano le uova anfigoniche (fig. 15). Se l'efippio è vuoto vuol dire che le uova anfigoniche non erano sta-

⁽³⁾ L'accrescimento delle uova anfigoniche è seguibile anche sull'animale vivente. Esse dapprima si presentano sotto forma di una piccola massa triangolare biancastra situata posteriormente ai due lati dell'intestino, in seguito si accrescono in senso anteriore assumendo dapprima una forma a biscotto e poi una forma a salsicciotto di varia lunghezza.

te fecondate e pertanto sono degenerate (bibl. 6).

Non è da credere che le Dafnie una volta eliminato l'efippio muoiano, tutt'altro. Esse, dopo la produzione di uova anfigoniche, riprendono la produzione di uova partenogenetiche e possono alternare più riproduzioni anfigoniche con riproduzioni partenogenetiche. La formazione di uova anfigoniche, infatti, non rappresenta lo atto finale dell'attività riproduttiva di una Dafnia, ma solo un particolare momento di tale attività, sotto lo stimolo di determinati fattori non ancora ben precisati. Mentre con le uova partenogenetiche le Dafnie accrescono rapidamente la loro popolazione, mediante le uova anfigoniche esse hanno la possibilità di farla sopravvivere superando condizioni ambientali sfavorevoli. Infatti, se la raccolta d'acqua si asciuga, se il nutrimento viene a mancare, se la temperatura si abbassa notevolmente, o se intervengono altri fenomeni letali, le Dafnie muoiono, ma restano le loro uova anfigoniche contenute negli efippi. Da queste uova con il ritorno delle condizioni ambientali favorevoli si sviluppano nuove femmine, che ripopoleranno la raccolta di acqua e si avrà di nuovo quel meraviglioso fervore di vita di cui si è qui tentato di dare un fugace cenno.

BIBLIOGRAFIA

- 1) FOX H. M. - *L'hémoglobine de la Daphnie et les problèmes qu'elle soulève*. « Bull. Soc. Zool. France », 80, 288-298, 1955.
- 2) KERHERVÉ J. B. DE - *La descendance d'une Daphnie (Daphnia magna) ou ses millions de germes en une saison*. « Ann. Biol. Lac. », 15, 61-73, 1926.
- 3) MACARTHUR J. W. e BAILLIE W. H. T. - *Metabolic activity and duration of life. II. Influence of temperature on longevity in Daphnia magna*. « J. exp. Zool. », 53, 221-242, 1929.
- 4) MACARTHUR J. W. e BAILLIE W. H. T. - *Metabolic activity and duration of life. II. Metabolic rates and their relation to longevity in Daphnia magna*. « J. exp. Zool. », 53, 243-268, 1929.
- 5) PACAUD A. - *Contribution à l'écologie des Cladocères*. « Bull. Biol. France et Belgique », Suppl. XXV, 260, pp., 1939.
- 6) ZAFFAGNINI F. - *Genesi delle uova anfigoniche e formazione dell'efippio in Daphnia magna*. « Boll. Zool. », 31, 697-709, 1964.
- 7) ZAFFAGNINI F. - *Alcuni aspetti del differenziamento sessuale in Daphnia magna. I. Sviluppo post-embriionale ed acquisizione dei caratteri sessuali secondari*. « Monitore Zool. Ital. », 73, 111-125, 1965.
- 8) ZAFFAGNINI F. - *Alcuni aspetti del differenziamento sessuale in Daphnia magna. III. Accrescimento individuale in lunghezza*. « Monitore Zool. Ital. », 73, 129-144, 1965.