

I chironomidi subfossili (Diptera, Chironomidae) del Lago di Tovel (Trentino, Alpi centro-orientali): uno sguardo agli ultimi 400 anni

Valeria LENCIONI^{1*} & Morena LAZZARA²

¹Sezione di Ecologia degli Invertebrati e Idrobiologia, Museo Tridentino Scienze Naturali, Via Calepina 14, I-38100 Trento

²Sezione di Limnologia e Algologia, Museo Tridentino Scienze Naturali, Via Calepina 14, I-38100 Trento

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: lencioni@mtsn.tn.it

RIASSUNTO - *I chironomidi subfossili (Diptera, Chironomidae) del Lago di Tovel (Trentino, Alpi centro-orientali): uno sguardo agli ultimi 400 anni* - Nell'ambito del progetto multidisciplinare SALTO (Studio sul mancato Arrossamento del Lago di Tovel, 2001-2004) sono state analizzate le capsule cefaliche di chironomidi relative agli ultimi 400 anni. È stata inoltre svolta un'indagine sulla comunità attuale di chironomidi lungo un transetto a profondità crescente, da 2 a 30 m nel bacino principale. Sulla base dei risultati ottenuti, il Lago di Tovel può essere definito come "lago a Tanytarsini" (con *Paratanytarsus austriacus*-type e *Tanytarsus lugens*-type quali taxa dominanti), quindi caratterizzato da una condizione relativamente stabile di oligotrofia nel periodo considerato. Il basso numero di capsule cefaliche rinvenuto può essere associato alla cronica carenza di ossigeno degli strati d'acqua a contatto con il sedimento profondo (meromissia crenogenica), che sicuramente rappresenta un impedimento alla colonizzazione da parte degli organismi bentonici. Questo è stato confermato anche dallo scarso rinvenimento di larve di chironomidi lungo il transetto, assenti oltre i 12 m di profondità. L'abbondanza di taxa tipici di sorgenti e di acque correnti (per es. *Diamesa* sp., *Corynoneura* sp., *Cricotopus* sp., *Eukiefferiella* sp., *Orthocladius* sp., *Rheocricotopus* sp.) in diversi strati della carota di sedimento analizzata è indice di variazioni di livello del lago, in particolare in corrispondenza degli anni in cui è cessato l'arrossamento della Baia Rossa e in cui è caduta la frana che ha dato origine al lago attuale.

SUMMARY - *Subfossil chironomids (Diptera, Chironomidae) from Lake Tovel (Trentino, central-eastern Alps): A view from the previous 400 years* - Within the frame of the multidisciplinary project SALTO/BEST (Blooms Environmental Science for Tovel, 2001-2004), the subfossil chironomid assemblages of the last 400 years has been analyzed. The analysis of recent larvae assemblages (in the first cm of sediment) has been also carried out along a transect at 2, 6, 12, 18, 24, 30 m in the main basin. The general dominance of *Paratanytarsus austriacus*-type and *Tanytarsus lugens*-type reveals a relatively stable oligotrophic condition of the lake ("Tanytarsini lake") in the considered period. The very low number of head capsules in the master core and the presence of larvae only up to 12 m along the transect indicate almost permanent anoxic conditions in the monimolimnion (crenogenic meromixy). Chironomids typical of springs and streams were found in some sections (*Diamesa* sp., *Corynoneura* sp., *Cricotopus* sp., *Eukiefferiella* sp., *Orthocladius* sp., *Rheocricotopus* sp.), to indicate periods of more lively hydrology and level fluctuations in particular in correspondence of the years in which it has been disappeared the reddening of the Red Bay and of the landslide that has given origin to the lake.

Parole chiave: Tanytarsini, temperatura, variazioni di livello, oligotrofia, anossia, Trentino (Alpi italiane)

Key words: Tanytarsini, temperature, level fluctuations, oligotrophy, anoxia, Trentino (Italian Alps)

1. INTRODUZIONE

I chironomidi (Diptera, Chironomidae) si rinven-
gono abbondantemente nella zona litorale, sublitorale
e profonda dei laghi, nei sedimenti molli così come
sulle superfici sommerse dure, legnose o rocciose. Nel
mondo sono note circa 15.000 specie (Cranston 1995)
di chironomidi, di cui quasi 500 in Italia (Lencioni
2000). In un unico lago si possono rinvenire anche più
di cento specie (Harper & Cloutier 1986; Frey 1988),

molto diversificate dal punto di vista ecologico. La
loro sopravvivenza negli ambienti dulciacquicoli di-
pende da numerosi e diversi fattori ambientali, fra i
quali la temperatura dell'acqua, il contenuto di ossi-
geno e il pH (Oliver 1971; Pinder 1986).

Per la loro ubiquità e ricchezza in specie stenoece
e stenotope, i chironomidi sono ottimi bioindicatori
(Wiederholm 1980; Lindegaard 1995), da molti anni
utilizzati come indicatori dello stato trofico dei laghi
(Brundin 1949, 1956; Sæther 1979; Hofmann 1986,

1988). In particolare, taxa appartenenti alla “*Tanytarsus lugens-community*” *sensu* Brundin (1949) sono indicatori di condizioni di buona ossigenazione, mentre la presenza di specie appartenenti al genere *Chironomus* è indice di bassa ossigenazione. I chironomidi sono stati impiegati anche come indicatori di inquinamento organico (Warwick 1980; Brodin 1982; Devai & Moldovan 1983; Walker 1995; Quinlan *et al.* 1998; Brodersen & Lindegaard 1999) e chimico da metalli pesanti (Kansanen 1985), di variazioni di salinità nei laghi (Paterson & Walker 1974; Clair & Paterson 1976; Walker *et al.* 1995; Heinrichs *et al.* 1997) e di precipitazioni acide (Raddum & Sæther 1981; Henrikson *et al.* 1982; Buskens 1987; Brodin 1990; Johnson *et al.* 1990; Brodin & Gransberg 1993).

Le diverse specie hanno evoluto particolari adattamenti fisiologici, morfologici e comportamentali per sopravvivere in ambienti lentici. In generale, gli ortocladini e i tanitarsini vivono bene in laghi freddi e oligotrofici, mentre i chironomini e i carnivori tanipodini tollerano acque più calde ed eutrofiche. La presenza di emoglobina in alcune specie (per es. *Chironomus plumosus* Linnaeus) permette loro di colonizzare laghi caldi e eutrofici con basso contenuto di ossigeno (Lindegaard 1995; Panis *et al.* 1996). Le specie che vivono in profondità sono in media più grandi di quelle che vivono nella zona litorale, sono essenzialmente tubicole e la loro sopravvivenza dipende dall'efficienza di ventilazione, che avviene mediante oscillazioni vigorose del corpo. Nei laghi eutrofici sono frequenti e abbondanti le specie tubicole dotate di emoglobina, mentre in quelli oligotrofici prevalgono specie a vita libera che si spostano frequentemente in cerca di cibo (Ruse 2002).

I chironomidi costituiscono un ottimo materiale per le indagini paleolimnologiche grazie alla presenza, nelle larve, di una capsula cefalica chitinoso che ben si conserva nei sedimenti e che consente nella maggior parte dei casi la determinazione degli individui a livello di genere/specie. L'analisi dei chironomidi subfossili può servire a ricostruire i cambiamenti di origine naturale e antropica avvenuti nei bacini lacustri, in particolare in seguito a fenomeni di eutrofizzazione (Walker & Mathewes 1987; Hofmann 1988; Walker 2001; Porichu & MacDonald 2003) o a variazioni delle condizioni climatiche (Walker *et al.* 1991; Levesque *et al.* 1993). In particolare, i chironomidi rappresentano indicatori molto sensibili ai cambiamenti climatici, in quanto sembra che la composizione della comunità a chironomidi sia strettamente correlata alla temperatura media estiva dell'aria in superficie (Walker *et al.* 1991). La temperatura è uno dei principali fattori, insieme all'ossigeno, che influenza i cicli vitali, la distribuzione e la sopravvivenza di questi insetti (Rossaro 1991; Tokeshi 1995).

Studi recenti hanno permesso di elaborare *transfer functions* basate sulla comunità di chironomidi

subfossili (*proxy*) presenti in campioni di sedimento lacustre per ricostruire l'andamento della temperatura superficiale dell'aria. I primi lavori pubblicati si riferiscono a laghi canadesi, per i quali sono stati ricavati dati di temperatura del periodo tardiglaciale (Walker *et al.* 1991, 1997; Levesque *et al.* 1993, 1994, 1997; Cwynar & Levesque 1995). In Europa sono stati condotti studi sulla fauna a chironomidi subfossili di laghi svizzeri (Lotter *et al.* 1997) e norvegesi (Brooks & Birks 2000), che hanno permesso di sviluppare *training sets* utili alla ricostruzione della temperatura dello stesso periodo.

La chironomidofauna litorale e profonda laghi prealpini (Ceretti & Nocentini 1996) e alpini (Boggero *et al.* 2006) italiani è attualmente ancora poco conosciuta (Marziali *et al.* 2006): le informazioni disponibili sono frammentarie e difficili da reperire, in quanto in parte non pubblicate o pubblicate su report di limitata diffusione. Per il Lago di Tovel la fauna bentonica litorale è parzialmente nota grazie agli studi di Boni *et al.* (1983), Paganelli (1992) e Bichteler *et al.* (1998), mentre le uniche informazioni sui chironomidi subfossili sono riportate in Guilizzoni *et al.* (1992).

Il fenomeno dell'arrossamento dovuto al dinoflagellato *Tovellia sanguinea* sp. inedit. (Moestrup *et al.*), che ha reso famoso il Lago di Tovel, è scomparso dopo il 1964. Nel 2001 la Provincia Autonoma di Trento ha finanziato il progetto multidisciplinare SALTO (Studio sul mancato Arrossamento del Lago di TOvel) (Borghi *et al.* 2006) che prevedeva, oltre allo studio del lago e del suo bacino dal punto di vista geologico, idrologico, fisico-chimico e biologico, l'analisi paleolimnologica dei sedimenti, al fine di comprendere le cause del mancato arrossamento del lago. Tra i *proxy* considerati, i chironomidi, a cui si riferisce il presente lavoro.

2. AREA DI STUDIO

Il Lago di Tovel si trova in Trentino (NE Italia, 46°15'42" N, 10°57'11" E), a 1178 m s.l.m., nella parte settentrionale delle Dolomiti di Brenta, nel bacino idrografico del Torrente Noce, affluente del Fiume Adige. Il lago attuale si è originato in seguito a uno sbarramento da frana datato al 1597 d.C., che ha determinato un innalzamento del livello lacustre di circa 20 m. Il bacino imbrifero del lago è caratterizzato da calcari grigi del Lias e dolomie del Norico e del Retico. Si distinguono due bacini: quello principale (Bacino NE), con una profondità massima di 39 m, e la Baia Rossa (Bacino SO), con una profondità massima di 5 m.

È un lago meromittico, con un basso tempo di ricambio, caratterizzato da una situazione di anossia permanente negli strati ipolimnici profondi, oligotrofico e soggetto ad ampie variazioni di livello stagionali

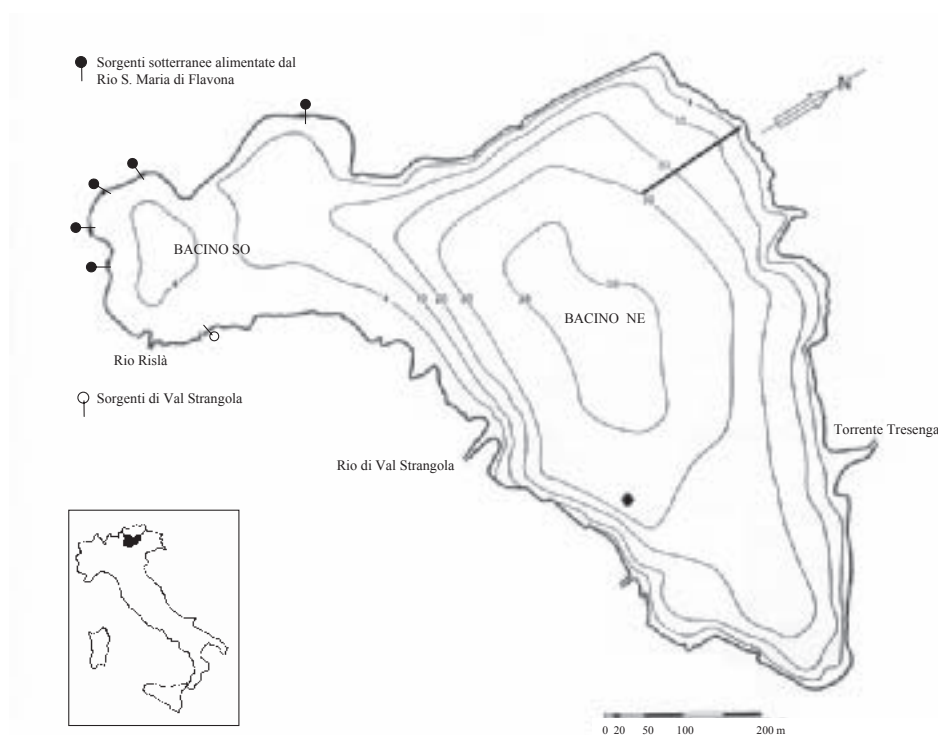


Fig. 1 - Batimetria del Lago di Tovel (Trentino, Italia settentrionale, 46°15'42" N, 10°57'11" E). Localizzazione del transetto (—) lungo il quale è stata analizzata la comunità di chironomidi attuale e del punto di prelievo della carota TOV01_7A_I (●).

Fig. 1 - Bathymetry of Lake Tovel (Trentino, northern Italy, 46°15'42" N, 10°57'11" E). Location of the transect (—) along which the present chironomid community was analyzed and where the TOV01_7A_I (●) core was collected.

(Boni *et al.* 1983; Paganelli 1992; Borsato & Ferretti 2006; Corradini & Boscaini 2006).

3. MATERIALI E METODI

Le capsule cefaliche dei chironomidi subfossili sono state estratte dalla carota TOV01_7A_I prelevata nel novembre 2001 nel bacino principale, alla profondità di 30 m circa (Fig. 1), mediante un carotatore Piston Corer UWITEC. Della carota, lunga 293 cm, sono stati analizzati i primi 60 cm a intervalli di 1 cm. Ciascuno dei 36 campioni analizzati era costituito da 4 g di sedimento fresco.

L'estrazione delle capsule cefaliche è avvenuta secondo Brooks (2000) e Walker (2001) ovvero attraverso: i) la deflocculazione del sedimento per 15 minuti in KOH 10% a 75 °C; ii) il lavaggio con HCl 10% a freddo; iii) il successivo filtraggio su rete di nylon da 200 e 100 µm. L'utilizzo dell'acido cloridrico (Walker 2000, 2001) si è reso necessario a causa della formazione di depositi di carbonato di calcio nelle capsule cefaliche (Fig. 2) che ne compromettevano la determinazione a livello di genere o specie.

Le capsule cefaliche estratte sono state smistate a livello di sottofamiglia allo stereomicroscopio (50X), deidratate in una successione di etanolo all'80 e 100% e montate in Euparal su vetrino da microscopio. Le fotografie sono state realizzate al microscopio ottico Nikon Eclipse E600 con fotocamera digitale Leica DC 300.

La determinazione a livello di genere e specie è avvenuta secondo Rossaro (1982), Ferrarese (1983), Nocentini (1985), Ferrarese & Rossaro (1981), Rieradevall & Brooks (2001).

La distribuzione percentuale dei taxa rinvenuti a livello stratigrafico è stata elaborata mediante il programma TILIA e TILIAGAPH, mentre la zonazione è stata effettuata con il software CONISS (Grimm 1987, 1991, 1991-93). La complessa situazione sedimentologica che caratterizza il Lago di Tovel ha reso difficile la datazione radiometrica, in particolare di alcune carote. Tra queste la TOV01_7A_I (Kulbe *et al.* 2006). Tuttavia, per questa carota è stato stimato, per confronto con altre carote, un tasso di sedimentazione compreso fra 0,07 e 0,13 cm y⁻¹, nel Bacino Principale e nella Baia Rossa rispettivamente. Inoltre, la parte di carota esaminata corrisponde molto proba-

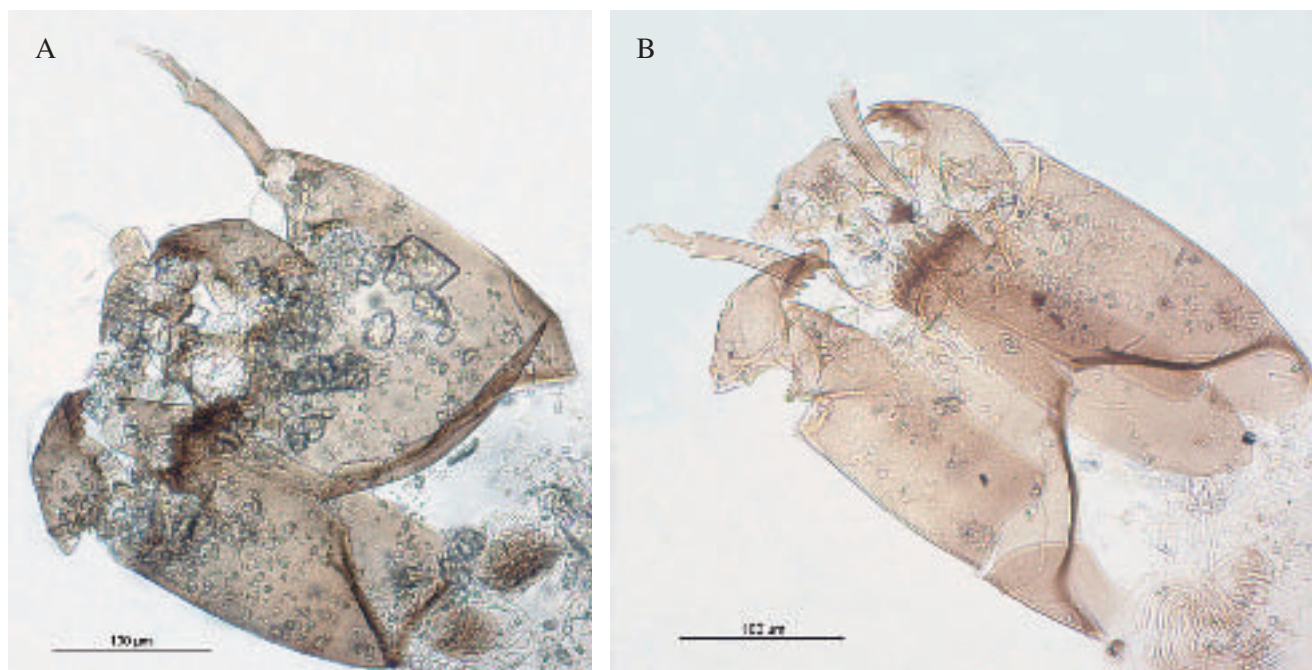


Fig. 2 - Capsula cefalica di *Paratanytarsus austriacus*-type estratta senza (A) e con (B) lavaggio con HCl 10% (foto: V. Lencioni).

Fig. 2 - Head capsule of *Paratanytarsus austriacus*-type extracted without (A) and with (B) washing with HCl 10% (photo: V. Lencioni).

bilmente al periodo post-frana del 1597 d.C. (Appleby & Piliposian 2006; Kulbe *et al.* 2006).

Nell'ambito del progetto si è presa in considerazione anche la comunità attuale di chironomidi prelevando, nell'estate 2002, il primo centimetro di sedimento in sei stazioni lungo un transetto alle profondità di 2-6-12-18-24 e 30 m nel bacino principale del lago (Fig. 2). Dal materiale raccolto, conservato in etanolo al 70%, sono state smistate le larve dei chironomidi allo stereomicroscopio e montate in Euparal su vetrino da microscopio.

4. RISULTATI

Nei 144 g di sedimento fresco della carota TOV01_7A_I analizzati, sono state estratte 741 capsule cefaliche di chironomidi, appartenenti a 45 taxa distribuiti in cinque sottofamiglie: Tanypodinae, Prodiamesinae, Diamesinae, Orthocladiinae, Chironominae. Il numero massimo di capsule ($n=51$) è stato trovato a 8-9 cm, il minimo ($n=3$) a 49-50 cm. La densità media era di 5 ± 3 capsule per grammo di peso fresco.

Presente in tutti gli strati esaminati e dominante nella maggior parte di essi (Fig. 3), la tribù dei Tanytarsini ha assommato il 62% delle capsule trovate, seguita da Orthocladiinae (24%), Tanypodinae (8%), Diamesinae (2%) e Prodiamesinae (<1%), mentre il maggior numero di taxa è stato trovato nella sot-

	N. capsule cefaliche (%)	N. capsule cefaliche g ⁻¹	N. taxa	Frequenza (%)
Tanypodinae	8,5	0,4	4	69
Diamesinae	2,4	0,1	3	31
Prodiamesinae	0,1	0,0	1	3
Orthocladiinae	24,0	1,2	26	91
Chironomini	3,3	0,2	2	46
Tanytarsini	61,7	3,2	7	100

Tab. 1 - Numero di capsule cefaliche (%), numero capsule cefaliche per grammo di sedimento, numero di taxa e frequenza percentuale nelle quattro sottofamiglie Tanypodinae, Prodiamesinae, Diamesinae e Orthocladiinae e nelle due tribù dei Tanytarsini e dei Chironomini appartenenti alla sottofamiglia delle Chironominae. I dati si riferiscono ai primi 60 cm di sedimento (= 140 g) della carota TOV01_7A_I.

Tab. 1 - Number of head capsules (%), number of head capsules per gram, number of taxa and percent frequency in the four subfamilies of Tanypodinae, Prodiamesinae, Diamesinae and Orthocladiinae and in the two tribes of Tanytarsini and Chironomini (subfamily Chironominae). Data refer to the first 60 cm of sediment (= 140 g) of the TOV01_7A_I core.

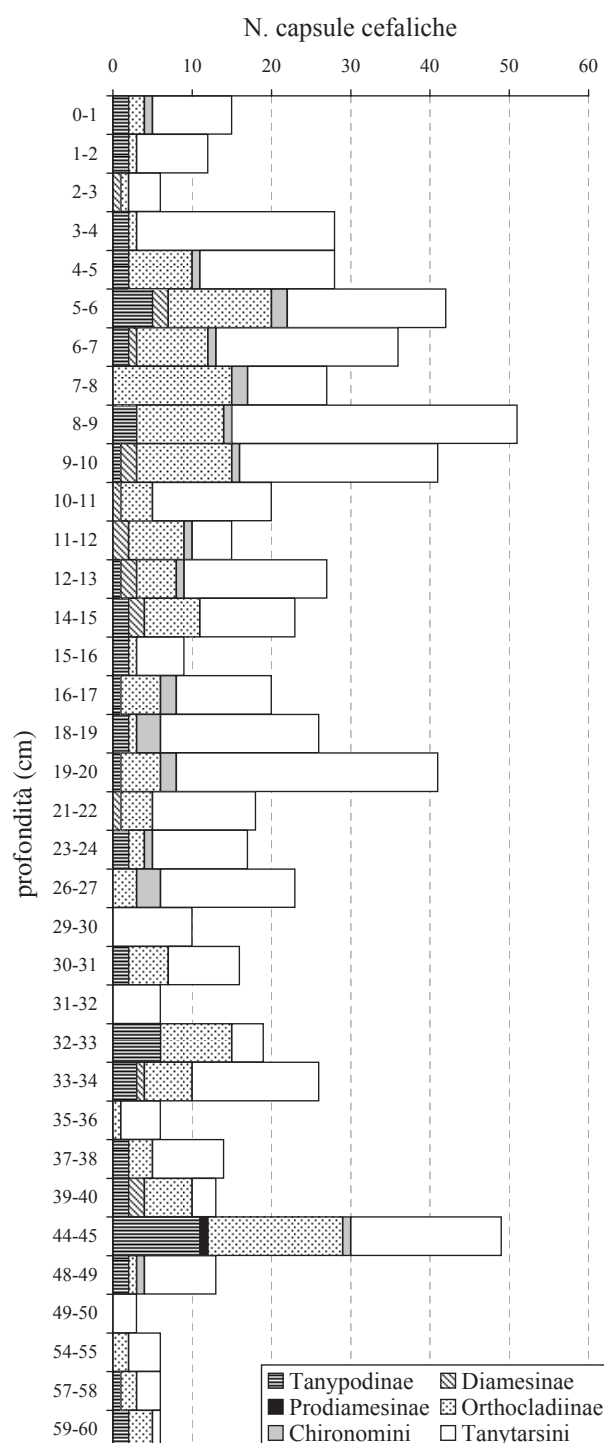


Fig. 3 - Distribuzione con la profondità delle capsule cefaliche di chironomidi appartenenti alle quattro sottofamiglie Tanypodinae, Prodiamesinae, Diamesinae e Orthoclaadiinae e nelle due tribù dei Tanytarsini e dei Chimonomini appartenenti alla sottofamiglia delle Chironominae, nei primi 60 cm di sedimento della carota TOV01_7A_I.

Fig. 3 - Vertical distribution of chironomid head capsules belonging to the four subfamilies of Tanypodinae, Prodiamesinae, Diamesinae and Orthoclaadiinae and the two tribes of Tanytarsini and Chimonomini (subfamily Chironominae). Data refer to the first 60 cm of sediment of the TOV01_7A_I core.

tofamiglia delle Orthoclaadiinae (Tab. 1). La presenza relativa più alta dei Tanytarsini si è registrata nei primi 4 cm e tra 12 e 30 cm, mentre la più bassa tra 57 e 60 cm. Per i Chironomini le percentuali più alte si sono registrate tra 16 e 27 cm; per le Orthoclaadiinae, in ordine decrescente, tra 54 e 60 cm, tra 5 e 10 cm e tra 30 e 45 cm; per le Diamesinae tra 9 e 15 cm; per le Tanypodinae tra 57 e 60 cm. Le Prodiamesinae (con la sola specie *Prodiamesa olivacea* (Meigen)) sono state rinvenute solo tra 44 e 45 cm di profondità (Fig. 3).

Tra i 43 taxa rinvenuti, *Paratanytarsus* (31%) e *Tanytarsus* (27%) sono risultati i generi più abbondanti e più frequenti, seguiti da *Heterotrissocladius* (6%) e *Zavrelimyia* (6%) (Tab. 2). A un più basso livello tassonomico, si è osservata una generale dominanza di *Paratanytarsus austriacus*-type e di *Tanytarsus lugens*-type (Fig. 4).

Il grafico TILIA e il cluster CONISS (Fig. 4) hanno evidenziato la presenza di cinque zone: la prima compresa tra 1 e 5 cm, la seconda tra 5 e 15 cm, la terza tra 15 e 30 cm, la quarta tra 30 e 50 cm e infine la quinta tra 50 e 60 cm. La maggior ricchezza in taxa è stata trovata nelle zone 2 e 4, mentre la più bassa nella zona 5. Nelle zone 2 e 4, quindi tra gli strati -5 e -15 cm e tra -30 e -50 cm, si è trovato il maggior numero di taxa tipici della zona litorale, di acque correnti e sorgentizie (Fig. 5), tra i quali i seguenti generi: *Diamesa*, *Corynoneura*, *Cricotopus*, *Eukiefferiella*, *Orthoclaadius*, *Parakiefferella*, *Psectrocladius*, *Rheocricotopus* e *Thienemaniella*.

Nei campioni di sedimento raccolti lungo il transetto sono state trovate 38 larve, delle quali 37 nei primi 12 m di profondità e 1 sola a 30 m di profondità (Fig. 6). Sono stati trovati 7 taxa, appartenenti a due sottofamiglie (Tanypodinae e Chironominae), con una dominanza di *Tanytarsus lugens*-type (39%), seguito da *Micropsectra* (31%), *Dicrotendipes* (16%), *Macropelopia* (5%), *Paratendipes* (5%) e *Tanytarsus t1* (3%). *Tanytarsus t1* è caratterizzato dall'aver: a) mandibola con 2 denti interni, 1 dente dorsale e 1 dente superficiale, b) zoccolo antennale senza protuberanza apicale, c) dente mediano del mentum non prominente e d) piastra post-occipitale.

5. DISCUSSIONE

La generale dominanza di Tanytarsini nella carota e nel transetto esaminati, in particolare di *P. austriacus*-type e di *Tanytarsus lugens*-type, indica che nel lago si è mantenuta una condizione relativamente stabile di oligotrofia negli ultimi 400 anni. In questo "lago a Tanytarsini" (*sensu* Sæther 1979) sono state estratte dal sedimento poche capsule cefaliche (in media 5 ± 3 capsule g^{-1}), risultato riconducibile alla condizione di permanente anossia del monimolimnio dovuta a meromissia crenogenica (Corradini & Boscaini 2006). Il

Tab. 2 - Lista e abbondanza dei generi di chironomidi rinvenuti nei primi 60 cm di sedimento (= 144 g) della carota TOV01_7A_I.
 Tab. 2 - List and abundance of chironomid genera recorded in the first 60 cm of sediment (= 144 g) of the TOV01_7A_I core.

	<i>Macropelopia</i>	<i>Procladius</i>	<i>Zavrelimyia</i>	<i>Pentaneurini</i>	<i>Diamesa</i>	<i>Prodiamesa</i>	<i>Brillia</i>	<i>Chaetocladius</i>	<i>Corynoneura</i>	<i>Cricotopus</i>	<i>Eukiefferiella</i>	<i>Heterotrissocladius</i>	<i>Limnophyes</i>	<i>Metricnemus/ Thienemannia</i>	<i>Orthocladius</i>	<i>Parakiefferiella</i>	<i>Parametricnemus</i>	<i>Parorthocladius</i>	<i>Psectrocladius</i>	<i>Rheocricotopus</i>	<i>Smittia</i>	<i>Thienemaniella</i>	<i>Tvetenia</i>	<i>Dicerotendipes</i>	<i>Paracladopelma</i>	<i>Microsectra</i>	<i>Paratanytarsus</i>	<i>Tanytarsus</i>	<i>Tanytarsini</i>		
0-1			2						1		1													1		4	4	1			
1-2			2				1																			2		6	1		
2-3					1															1						1		2	1		
3-4			2							1																2	5	16	2		
4-5			2							2	3	1														1	10	7			
5-6	1		4		2		1		1	2	2	3													1	3	1	1	12	8	
6-7			2		1					1		1	1	1	1					2						1	1	1	2	13	8
7-8								1		3	4	1	1			2				2						1		2	6	4	
8-9	1		2					2	1	2	2	2				1				1						1	1	16	19		
9-10			1		2		1	1	1	2	1	2	1			2				1						1		14	11		
10-11					1											1				2								6	8	1	
11-12					2							7														1		1	4		
12-13	1				2						1	1					1	1	1							1		9	8	1	
13-14			1							2		2												2				8	8		
14-15	1		1		2						2	2				1				2								7	3	2	
15-16	2											1																4	2		
16-17			1							1	1	2								1						2		7	5		
18-19			2									1														3		11	9		
19-20			1							1	1	2								1						2		18	15		
21-22					1							3								1								8	5		
23-24	2									1		1														1		8	4		
26-27												1														3	1	4	12		
29-30																												9	1		
30-31	1		1						1			3									1							3	6		
31-32																											1	4	1		
32-33	1		5							1	3	3					2											2	2		
33-34	1	1	1		1							2				1				3						3	6	7			
35-36										1																	1	3	1		
37-38		1	1								2								1								1	7	1		
39-40	1		1		2						1								1	3								2	1		
44-45	2	1	6	2		1		1	1	1	2	4					1			5				2	1	3	13	3			
48-49			2					1																		1	2	3	4		
49-50																											1	2			
54-55												1		1													2	1	1		
57-58			1							1										1								3			
59-60	1		1							1	2																	1			

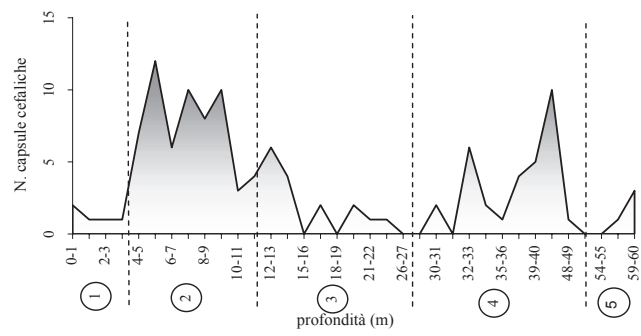
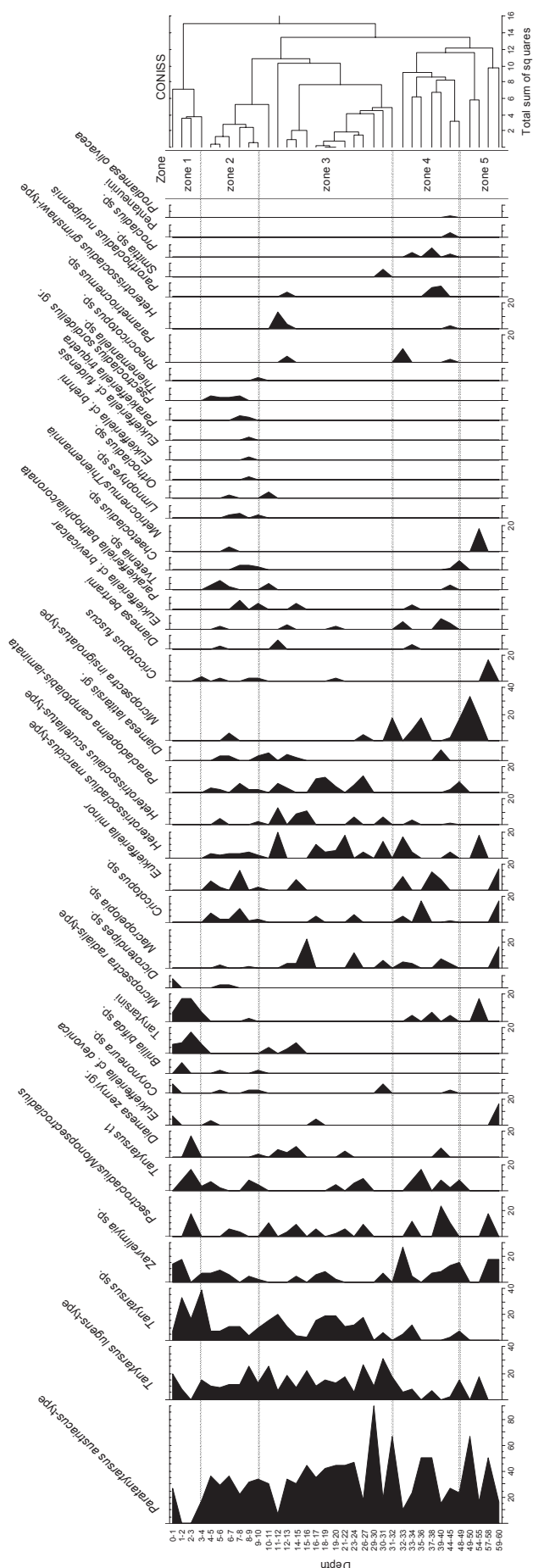


Fig. 5 - Distribuzione dei taxa crenofili e reofili nei primi 60 cm di sedimento della carota TOV01_7A_I.
 Fig. 5 - Distribution of crenophilous and reophilous taxa in the first 60 cm of sediment of the TOV01_7A_I core.

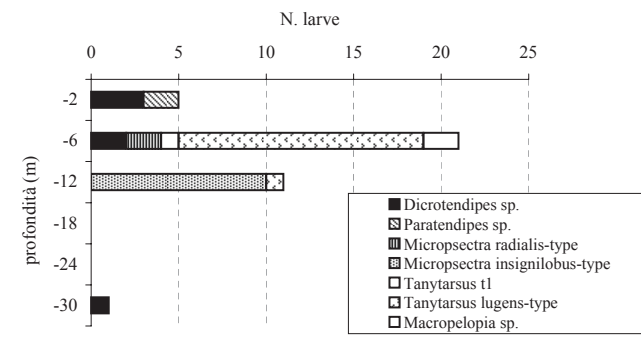


Fig. 6 - Distribuzione dei taxa di chironomidi "attuali" rinvenuti nel primo cm di sedimento lungo il transetto.
 Fig. 6 - Distribution of "alive" chironomid taxa along the transect.

Lago di Tovel, infatti, è caratterizzato da una notevole scarsità, fino alla totale scomparsa, di ossigeno nelle acque profonde anche durante la circolazione primaverile e autunnale (Paganelli *et al.* 1982, 1988), ed è noto che l'anossia degli strati d'acqua a contatto con i sedimenti rappresenta un impedimento alla colonizzazione da parte degli organismi bentonici. Inoltre, la concentrazione dei resti chitinosi di chironomidi nei sedimenti dipende dal contenuto di ossigeno nelle acque profonde (Marchetti 1993). Anche la completa

Fig. 4 - Grafico TILIA e cluster CONISS in cui è evidenziata la distribuzione percentuale dei taxa in funzione della profondità nei primi 60 cm di sedimento della carota TOV01_7A_I.
 Fig. 4 - TILIA graph and CONISS cluster showing the taxon percent distribution with depth in the first 60 cm of sediment of the TOV01_7A_I core.

assenza di chironomidi oltre i 12 m di profondità è il risultato del basso contenuto in ossigeno delle acque profonde. Come evidenziato da numerosi autori (Sæther 1979; Schmäh 1993; Wiederholm & Eriksson 1979; Kansanen 1985; Walker 1993), in condizioni di anossia l'ossigeno diviene fattore ambientale più importante della disponibilità di cibo nel determinare la presenza dei chironomidi. L'oligotrofia del lago e la natura calcarea del bacino possono tuttavia concorrere alla scarsità di capsule cefaliche trovate.

Secondo Lang *et al.* (2003), un basso numero di capsule cefaliche può essere determinato anche dal metodo utilizzato per l'estrazione delle capsule stesse, specialmente nei sedimenti di laghi ubicati in bacini di natura calcarea. Qualora i sedimenti siano di natura carbonatica, la sonicazione permetterebbe la rottura della struttura cristallina del sedimento e di conseguenza consentirebbe l'estrazione di capsule cefaliche intere e più pulite. In particolare, migliorerebbe l'estrazione dei Tanytarsini, caratterizzati da una capsula cefalica relativamente piccola che tende a essere intrappolata negli aggregati di sedimento e dei Tanypodini, che hanno una capsula cefalica molto sottile facilmente soggetta a rotture. Nel caso del Lago di Tovel, tuttavia, nonostante siano state utilizzate le metodiche di estrazione standard che non prevedono l'utilizzo di ultrasuoni, i Tanytarsini sono risultati ugualmente ben rappresentati nella comunità "fossile" di chironomidi.

A conferma di quanto riportato in studi precedenti (Guilizzoni *et al.* 1992), in alcune zone del lago è stata trovata un'elevata percentuale di taxa crenofili e reofili, rinvenuti da altri autori nelle comunità attuali della zona litorale (Boni *et al.* 1983; Rossaro dati inediti 1988; Guilizzoni *et al.* 1992; Bichteler *et al.* 1998; Marziali dati inediti 2004), la quale è caratterizzata dalla presenza di numerose sorgenti e ospita specie che comunemente si rinvengono in acque correnti, tra cui *Corynoneura scutellata* Thienemann, *Eukiefferiella fittkai* Lehmann, *Orthocladus* sp., *Parametriocnemus* sp. e *Dicrotendipes* sp. (Bichteler *et al.* 1998). Il ritrovamento di questi e altri taxa litorali e sublitorali nella zona profonda porta a ritenere che i medesimi provengano dal franamento del sedimento litorale (Guilizzoni *et al.* 1992). Il trasporto di sedimento dalle parti meno profonde a quelle più profonde è un fenomeno comunemente osservato negli studi paleolimnologici (Hilton 1985; Anderson & Battarbee 1994). Taxa di chironomidi tipicamente litorali sono stati trovati nella zona profonda del Lago Washington, profondo 63 m, dove l'80% delle capsule cefaliche rinvenute apparteneva a taxa litorali (Wiederholm 1979) e in quella del Lago di Costanza, profondo 46 m (Schmäh 1993), ma anche in laghi meno profondi come il Lago Vanajavesi (Kansanen 1985). Frane e variazioni di livello e quindi trasporto e rideposizione dei sedimenti ripetutesi nell'arco

degli ultimi 400 anni potrebbero quindi giustificare la presenza, soprattutto in alcuni strati della carota esaminata, di taxa litorali. Per esempio, il picco di taxa litorali registrato alla profondità di circa 45-50 cm potrebbe essere causato dalla frana che alla fine del XVI secolo diede origine al lago attuale alzandone il livello di 20 m. La presenza stessa di sorgenti sottolacuali concorre comunque a creare un ambiente instabile.

La generale dominanza di Tanytarsini, la presenza di taxa litorali e il basso numero di capsule cefaliche erano stati rilevati anche da Guilizzoni *et al.* (1992) in uno studio paleolimnologico focalizzato sugli ultimi 200 anni.

A causa del basso numero di capsule cefaliche estratte (da un minimo di 3 a un massimo di 51 per cm, e una media di 5 ± 3 per grammo) e della mancanza di un database esteso ad altri laghi confrontabili per posizione geografica e caratteristiche morfometriche al lago studiato, per il Lago di Tovel non è stato possibile elaborare una *transfer function* per la ricostruzione della temperatura basata sulla comunità dei chironomidi subfossili. Il numero minimo di capsule cefaliche richiesto a tale scopo è di 50 per campione (Heiri & Lotter 2001; Larocque 2001; Quinlan & Smol 2001). Lotter *et al.* (1998) hanno sviluppato una *transfer function* sulla base di comunità di chironomidi viventi nel substrato superficiale di 68 laghi alpini, la maggior parte dei quali, tuttavia, con caratteristiche non confrontabili con il Lago di Tovel e di conseguenza non applicabili al nostro caso-studio (Heiri *com. pers.*).

RINGRAZIAMENTI

Il presente studio fa parte della ricerca SALTO (Studio sul mancato Arrossamento del Lago di TOvel) finanziata dalla Provincia Autonoma di Trento. Gli Autori ringraziano i collaboratori della sezione di Limnologia e Algologia che hanno partecipato all'attività di campo. Un ringraziamento particolare va a J. Massaferrò e S.J. Brooks per il loro prezioso contributo nella messa a punto del protocollo operativo e per la loro consulenza tassonomica. Desideriamo ringraziare, infine, B. Rossaro per la rilettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson N.J. & Battarbee R.W., 1994 - Aquatic community persistence and variability: A palaeolimnological perspective. In: Giller P.S., Hildrew A.G. & Raffaelli D. (eds), *Aquatic Ecology: Scale, Pattern and Processes*. Blackwell Scientific Publications, London: 233-259.

- Appleby P.G. & Piliposian G.T., 2006 - Datazione radiometrica di carote di sedimento del Lago di Tovel. In: Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G. (a cura di), Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 89-95.
- Bichteler A., Lencioni V., Nespoli L. & Tessari P., 1998 - Zoobenthos fauna of the littoral and profundal zone of L. Tovel. In: Rott E. & B. Maiolini (eds), Proceedings of the workshop *Limnology of a subalpine lake: Lago di Tovel (Parco Adamello-Brenta, Trentino, Italy)*. Innsbruck/Trento, 20-26 September 1998: 59-81.
- Boggero A., Füreder L., Lencioni V., Simcic B., Thaler B., Ferrarese U., Lotter A.F. & Ettinger R. (2006) - Littoral Chironomid community of 103 Alpine lakes in relation to environmental factors. In: Lami A. & Boggero A. (eds), *Ecology of high altitude aquatic systems in the Alps. Developments in Hydrobiology/Hydrobiologia* (in stampa)
- Boni C., Bresolin R., Casellato S. & Lunelli F., 1983 - Le comunità zooplanctonica e zoobentonica del Lago di Tovel, espressioni della sua oligotrofia. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 60: 25-53.
- Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G., 2006 - Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel - Il Progetto SALTO (2001-2004). In: Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G. (a cura di), Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 1-4.
- Borsato A. & Ferretti P., 2006 - Monitoraggio idrometrico del Lago di Tovel e del suo bacino. In: Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G. (a cura di), Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 205-223.
- Brodersen K.P. & Lindegaard C., 1999 - Classification, assessment and trophic reconstruction of Danish lakes using chironomids. *Freshwat. Biol.*, 42: 143-157.
- Brodin Y.W., 1982 - Palaeoecological studies of the recent development of the Lake Vännsjön. 4. Interpretation of the eutrophication process through the analysis of sub-fossil chironomids. *Arch. Hydrobiol.*, 93: 313-326.
- Brodin Y.W., 1990 - Midge fauna development in acidified lakes in northern Europe. *Phil. Trans. r. Soc. Lond. B*, 327: 295-298.
- Brodin Y.W. & Gransberg M., 1993 - Responses of insects especially Chironomidae (Diptera) and Mites to 130 years of Acidification in a Scottish Lake. *Hydrobiologia*, 250: 201-212.
- Brooks S.J., 2000 - Late-glacial fossil midge stratigraphies (Insecta: Diptera: Chironomidae) from Swiss Alps. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 159: 261-279.
- Brooks S.J. & Birks H.J.B., 2000 - Chironomid-inferred late-glacial and early-Holocene mean July air temperature for Kråkenes lake, western Norway. *J. Paleolim.*, 23: 77-89.
- Brundin L., 1949 - Chironomiden und andere Bodentiere der Sudschweden Urgebirgsseen. *Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm*, 30: 1-914.
- Brundin L., 1956 - Zur Systematik der Orthoclaadiinae (Dipt. Chironomidae). *Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm*, 37: 1-185.
- Buskens R.F.M., 1987 - The chironomid assemblages in shallow lentic waters differing in acidity, buffering capacity and trophic level in the Netherlands. *Ent. scand. Suppl.*, 29: 217-224.
- Ceretti G. & Nocentini A.M., 1996 - Notes on the distribution of some macrobenthonic populations (Oligochaeta and Diptera Chironomidae) in the littoral of a few small lakes in northern Italy. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 54: 109-124.
- Clair R. & Paterson C.G., 1976 - Effect of a salt water intrusion on a freshwater Chironomidae community: a paleolimnological study. *Hydrobiologia*, 48: 131-135.
- Corradini F. & Boscaini A., 2006 - Fisica e chimica delle acque del Lago di Tovel (Alpi centrali). In: Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G. (a cura di), Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel. *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 307-326.
- Cranston P.S., 1995 - Introduction. In: Armitage P., Cranston P.S. & Pinder L.C.V. (eds), *The Chironomidae - Biology and ecology of non-biting midges*. Chapman & Hall, London, UK: 1-5.
- Cwynar L.C. & Levesque A.J., 1995 - Chironomid evidence for late glacial climatic events in Maine. *Quat. Res.*, 43: 405-413.
- Devai G. & Moldovan J., 1983 - An attempt to trace eutrophication in a shallow lake (Balaton, Hungary) using chironomids. *Hydrobiologia*, 103: 169-175.
- Ferrarese U., 1983 - Chironomidi, 3 (Diptera, Chironomidae: Tanypodinae). In: Ruffo S. (a cura di), *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. Vol. 26. CNR AQ/1/204, Verona: 67 pp.
- Ferrarese U. & Rossaro B., 1981 - Chironomidi, 1 (Diptera, Chironomidae: Generalità, Diamesinae, Prodiamesinae). In: Ruffo S. (a cura di), *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. Vol. 12. CNR AQ/1/129, Verona: 96 pp.
- Frey D.G., 1988 - Littoral and offshore communities of diatoms, cladocerans and dipterous larvae, and their interpretation in paleolimnology. *J. Paleolim.*, 1: 179-191.
- Grimm E.C., 1987 - CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comp. Geosci.*, 13: 13-35.
- Grimm E.C., 1991 - TILIA 2.0 version (computer software). Illinois State Museum Research and Collections Center, Springfield, Illinois.
- Grimm E.C., 1991-1993 - TILIA-GRAPH 2.0 version (computer software). Illinois State Museum Research and Collections Center, Springfield, Illinois.
- Guillizzoni P., Lami A. & Masafferro J., 1992 - Indagini paleolimnologiche sul lago di Tovel (Trentino). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 67: 53-98.
- Harper P.P. & Cloutier L. 1986 - Spatial structure of the insect community of a small dimictic lake in the Laurentians (Québec). *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 71: 655-685.

- Heinrichs M.L., Wilson S.E., Walker I.R., Smol J.P., Mathewes R.W. & Hall K.J., 1997 - Midge- and diatom-based paleosalinity reconstructions for Mahoney Lake, Okanagan Valley, British Columbia, Canada. *Int. J. Salt. Lake Res.*, 6: 249-267.
- Heiri O. & Lotter A.F., 2001 - Effect of low counts sums on quantitative environmental reconstructions: an example using subfossil chironomids. *J. Paleolim.*, 26: 343-350.
- Henrikson L., Olofson J.B. & Oscarson H.G., 1982 - The impact of acidification on Chironomidae (Diptera) as indicated by subfossil stratification. *Hydrobiologia*, 86: 223-229.
- Hilton J., 1985 - A conceptual framework for predicting the occurrence of sediment focusing and sediment redistribution in small lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 30: 1131-1143.
- Hofmann W., 1986 - Chironomid Analysis. In: Berglund B.E. (ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. J. Wiley & Sons, Chichester: 715-728.
- Hofmann W., 1988 - The significance of chironomid analysis (Insecta: Diptera) from palaeolimnological research. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 62: 501-510.
- Johnson M.G., Kelso J.R.M., McNeill O.C. & Morton W.B., 1990 - Fossil midge associations and the historical status of fish in acidified lakes. *J. Paleolim.*, 3: 113-127.
- Kansanen P.H., 1985 - Assessment of pollution history from recent sediments in Lake Vanajavesi, southern Finland II. Changes in the Chironomidae, Chaoboridae and Ceratopogonidae (Diptera) fauna. *Ann. zool. fenn.*, 22: 57-90.
- Kulbe T., Anselmetti F., Cantonati M. & Sturm M., 2006 - Drastiche variazioni di livello ed evoluzione sedimentaria nel Lago di Tovel (Parco Naturale Adamello-Brenta, Trentino). In: Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F. & Flaim G. (a cura di), *Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel*. *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 75-87.
- Lang B., Bedford A.P., Richardson N. & Brooks S.J., 2003 - The use of ultra-sound in the preparation of carbonate and clay sediments for chironomid analysis. *J. Paleolim.*, 30: 451-460.
- Larocque I., 2001 - How many chironomid head capsules are enough? A statistical approach to determine sample size for palaeoclimatic reconstructions. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 172: 133-142.
- Lencioni V., 2000 - *Chironomid (Diptera: Chironomidae) assemblages in three Alpine glacial systems*. Ph.D. Dissertation, University of Innsbruck, Austria: 202 pp.
- Levesque A.J., Cwynar L.C. & Walker I.R., 1994 - A multiproxy investigation of late-glacial climate and vegetation change at Pine Ridge Pond, southwest New Brunswick, Canada. *Quat. Res.*, 42: 316-327.
- Levesque A.J., Cwynar L.C. & Walker I.R., 1997 - Exceptionally steep north-south gradients in lake temperatures during the last deglaciation. *Nature*, 385: 423-426.
- Levesque A.J., Mayle F.E., Walker I.R. & Cwynar L.C., 1993 - A previously unrecognized late-glacial cold event in eastern North America. *Nature*, 361: 623-626.
- Lindgaard C., 1995 - Chironomidae (Diptera) of European cold springs and factors influencing their distribution. *J. Kans. Entomol. Soc.*, 68:108-131.
- Lotter A.F., Birks H.J.B., Hofmann W. & Marchetto A., 1997 - Modern diatom, cladocera, chironomid and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *J. Paleolim.*, 18: 395-420.
- Lotter A.F., Birks H.J.B., Hofmann W. & Marchetto A., 1998 - Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *J. Paleolim.*, 19: 443-463.
- Marchetti R. (a cura di), 1993 - *Ecologia Applicata*. Società Italiana di Ecologia, Città Studi Milano: 1055 pp.
- Marziali L., Lencioni V., Boggero A. & Rossaro B. (2006) - Distribuzione di Ditteri Chironomidi in laghi alpini e prealpini. *Biogeographia* (in stampa).
- Nocentini A., 1985 - Chironomidi, 4 (Diptera, Chironomidae: Chironominae, larve). In: Ruffo S. (a cura di), *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. Vol. 29. CNR AQ/1/233, Verona: 186 pp.
- Oliver D.R., 1971 - Life History of the Chironomidae. *Ann. Rev. Entomol.*, 16: 211-230.
- Paganelli A., 1992 - Lake Tovel (Trentino): limnological and hydrobiological aspects. *Mem. Istit. Ital. Idrobiol.*, 50: 225-257.
- Paganelli A., Cordella P., Miola A., Trevisan R. & Cappelletti E.M., 1982 - Ulteriore contributo alla limnologia del Lago di Tovel (Trentino, Italia). *Giorn. Bot. It.*, 116, Suppl. 1: 33-34.
- Paganelli A., Miola A. & Cordella P., 1988 - Il Lago di Tovel (Trentino) e la circolazione delle sue acque. *Riv. Idrobiol.*, 27: 363-376.
- Panis L.I., Goddeeris B. & Verheyen R., 1996 - On the relationship between vertical microdistribution and adaptation to oxygen stress in littoral Chironomidae (Diptera). *Hydrobiologia*, 318: 61-67.
- Paterson C.G. & Walker K.F., 1974 - Recent history of *Tanytarsus barbatus* Freeman (Diptera: Chironomidae) in the sediments of a shallow, saline lake. *Australian J. Mar. Freshwat. Res.*, 25: 315-325.
- Pinder L.C.V., 1986 - Biology of freshwater Chironomidae. In: Mittler T.E., Radovsky F.J. & Resh V.H. (eds), *Annual Review of Entomology* 31. Annual Reviews, Inc., Palo Alto, CA: 1-23.
- Porichu D.F. & MacDonald G.M., 2003 - The use and application of freshwater midges (Chironomidae: Insecta: Diptera) in geographical research. *Prog. Phys. Geogr.*, 27: 378-422.
- Quinlan R. & Smol J.P., 2001 - Setting minimum head capsule abundance and taxa deletion criteria in chironomid-based inference models. *J. Paleolim.*, 26: 327-342.

- Quinlan R., Smol J.P. & Hall R.I., 1998 - Quantitative inferences of past hypolimnetic anoxia in south-central Ontario lakes using fossil midges (Diptera: Chironomidae). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55: 587-596.
- Raddum G.C. & Sæther O.A., 1981 - Chironomid communities in Norwegian lakes with different degrees of acidification. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 12: 399-405.
- Rieradevall M. & Brooks S.J., 2001 - An identification guide to subfossil Tanypodinae larvae (Insecta: Diptera: Chironomidae) based on cephalic setation. *J. Paleolim.*, 25: 81-99.
- Rossaro B., 1982 - Chironomidi, 2 (Diptera, Chironomidae: Orthocladiinae). In: Ruffo S. (a cura di), *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. Vol. 16. CNR AQ/1/171, Verona: 80 pp.
- Rossaro B., 1991 - Chironomids and water temperature. *Aquatic Insects*, 13: 87-98.
- Ruse L., 2002 - Chironomid pupal exuviae as indicators of lake status. *Arch. Hydrobiol.*, 153: 367-390.
- Sæther O.A., 1979 - Chironomid communities as water quality indicators. *Holarct. Ecol.*, 2: 65-74.
- Schmäh A., 1993 - Variation among fossil chironomid assemblages in surficial sediments of Bodensee-Untersee (SW-Germany): implications for paleolimnological interpretation. *J. Paleolim.*, 9: 99-108.
- Tokeshi M., 1995 - Life cycles and population dynamics. In: Armitage P.D., Cranston P.S. & Pinder L.C.V. (eds), *The Chironomidae - biology and ecology of non-biting midges*. Chapman & Hall, London: 225-268.
- Walker I.R., 1993 - Paleolimnological biomonitoring using freshwater benthic macroinvertebrates. In: Rosenberg D.M. & Resh V.H. (eds), *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Routledge, Chapman and Hall, Inc.: 306-343.
- Walker I.R., 1995 - Chironomids as indicators of past environmental change. In: Armitage P.D., Cranston P.S. & Pinder L.C.V. (eds), *The Chironomidae - biology and ecology of non-biting midges*. Chapman and Hall, London: 405-422.
- Walker I.R., 2000 - The WWW Field Guide to Subfossil Midges (<http://www.ouc.ca/eesc/iwalker/wwwguide/>).
- Walker I.R., 2001 - Chironomidae and related Diptera. In: Smol J.P., Birks J.B. & Last W.M. (eds), *Tracking environmental change using lake sediments*. Vol. 4, Zoological Indicators. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 43-66.
- Walker I.R. & Mathewes R.W., 1987 - Chironomids, lake trophic status, and climate. *Quat. Res.*, 28: 431-437.
- Walker I.R., Wilson S.E. & Smol J.P., 1995 - Chironomidae (Diptera): quantitative paleosalinity indicators for lakes of western Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52: 950-960.
- Walker I.R., Smol J.P., Engstrom D.R. & Birks H.J.B., 1991 - An assessment of Chironomidae as quantitative indicators of past climatic change. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 975-987.
- Walker I.R., Levesque A.J., Cwynar L.C. & Lotter A.F., 1997 - An expanded surface-water palaeotemperature inference model for use with fossil midges from eastern Canada. *J. Paleolim.*, 18: 165-178.
- Warwick W.F., 1980 - *Pasqua Lake, Souteastern Saskatchewan: a preliminary assessment of trophic status and contamination based on the Chironomidae (Diptera)*. D.A. Murray Ed., Pergamon press Oxford & New York: 255-267.
- Wiederholm T., 1979 - Morphology of *Chironomus macani* Freeman, with notes on the taxonomic status of subg. *Chaetolabis* Town. (Diptera: Chironomidae). *Ent. scand. Suppl.*, 10: 145-150.
- Wiederholm T., 1980 - Use of benthos in lake monitoring. *Journal W.P.C.P.*, 52: 537-547.
- Wiederholm T. & Erikson L., 1979 - Subfossil chironomids as evidence of eutrophication in Ekoln Bay, Central Sweden. *Hydrobiologia*, 62: 195-208.

