

### 3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi

Le concentrazioni di carbonio organico totale misurate lungo la colonna d'acqua nel corso dell'anno sono presentate nella tabella 3.4a insieme ai valori medi relativi alla zona eufotica (0-20 m) ed afotica (20-350 m). Nella stessa tabella sono pure sintetizzati i valori relativi alla frazione particellata del carbonio organico e al particolato totale (seston); sono pure riportate le densità del popolamento batterico misurate nel corso dell'anno. Da essa e dalla figura 3.4a, dove è presentata l'evoluzione delle concentrazioni di TOC negli anni 2004 e 2005 nelle zone eufotica ed afotica del Lago Maggiore, si può constatare che nel 2005 la concentrazione di TOC ( $\text{mg l}^{-1}$ ) è stata, in generale, su valori di poco superiori a quelli misurati nel corso del 2004. Nei mesi estivi ed autunnali la concentrazione di TOC si è mantenuta comunque su valori inferiori al  $\text{mg l}^{-1}$ , con un picco estivo a fine Luglio – inizio Agosto di  $1,6 \text{ mg l}^{-1}$  nella zona eufotica, probabilmente in relazione al decadimento della fioritura di *Anabaena lemmermannii* che ha interessato tutto il Lago Maggiore nel corso del mese di Luglio.

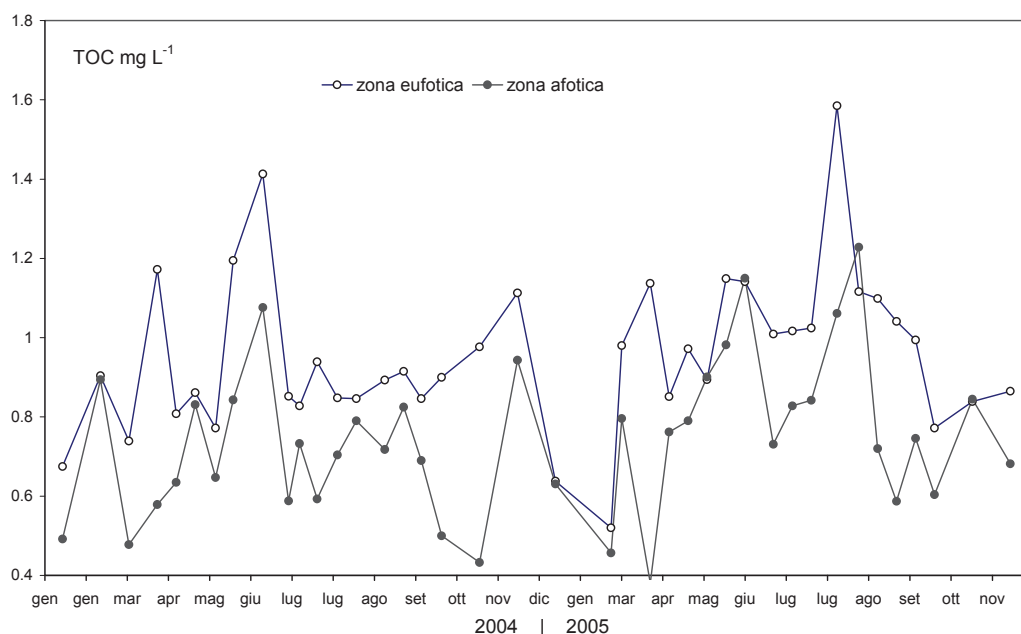


Fig. 3.4a. Valori della concentrazione di carbonio organico totale (TOC:  $\text{mg l}^{-1}$ ) nelle zone eufotica ed afotica del Lago Maggiore: confronto tra gli anni 2004 e 2005.

Esaminando l'evoluzione stagionale della frazione particellata (POC) nella zona eufotica del Lago Maggiore, si vede (Fig. 3.4b) come la frazione particella, che nel 2004 aveva presentato i suoi valori massimi nel periodo primaverile, nel 2005 ha assunto valori piuttosto elevati durante il periodo della fioritura di cianobatteri (Luglio – inizi Agosto). Come emerge dal confronto con i dati dell'anno precedente, non si tratta comunque di valori eccezionalmente elevati, in relazione al fatto che anche quando la fioritura esita in accumuli macroscopici di materiale algale, essi sono comunque confinati allo strato più superficiale del lago, interessando soltanto uno strato dell'ordine del centimetro di spessore.

Tab. 3.4a. Concentrazioni di seston, carbonio organico particellato (POC), carbonio organico totale (TOC), carbonio organico batterico eterotrofo (CMD) misurate nel Lago Maggiore nel corso del 2005.

	12/1	22/2	2/3	23/3	6/4	20/4	4/5	18/5	1/6	22/6	6/7	20/7	8/8	24/8	7/9	21/9	5/10	19/10	16/11	14/12	
<b>Seston mg l<sup>-1</sup></b>																					
zona eufotica	0,47	0,30	0,24	1,14	1,72	1,83	0,92	0,64	0,99	1,07	0,89	0,68	1,32	1,30	1,33	1,27	0,79	0,53	0,50	0,23	0,23
zona afotica	0,32	0,30	0,33	0,39	0,45	0,58	0,22	0,32	0,14	0,34	0,26	0,33	0,45	0,21	0,45	0,39	0,30	0,18	0,23	0,23	0,22
<b>POC µg l<sup>-1</sup></b>																					
zona eufotica	86	59	52	314	325	386	264	108	274	276	253	291	322	351	312	249	146	151	151	135	135
zona afotica	55	68	12	72	76	82	78	56	92	79	66	75	108	72	87	60	44	49	52	60	60
<b>TOC mg l<sup>-1</sup></b>																					
20 m	0,555	0,418	0,823	0,311	0,735	0,814	1,234	0,902	1,055	1,389	0,761	0,812	0,84	3,135	0,921	0,655	0,669	0,615	0,768	0,738	0,738
50 m	0,565	0,407	0,750	0,316	0,761	0,621	0,975	0,881	1,009	0,766	0,633	0,631	0,713	0,689	0,636	0,551	0,563	0,496	0,576	0,627	0,627
100 m	0,413	0,431	0,730	0,335	0,738	0,615	1,064	0,834	1,017	0,588	0,676	0,686	0,635	0,774	0,647	0,563	0,54	0,517	0,583	0,635	0,635
200 m	0,351	0,419	0,756	0,310	0,765	0,596	1,046	0,854	1,122	0,683	0,636	0,637	0,826	0,716	0,615	0,56	0,539	0,505	0,568	0,625	0,625
300 m	0,35	0,407	0,741	0,360	0,718	0,542	1,013	0,858	1,004	0,674	0,674	0,676	0,64	0,629	0,648	0,555	0,532	0,514	0,600	0,653	0,653
350 m	0,404	0,415	0,736	0,400	0,726	0,653	0,996	0,855	0,975	0,835	0,707	0,842	0,686	0,801	0,733	0,573	0,576	0,524	0,642	0,693	0,693
zona eufotica	0,638	0,52	0,980	1,137	0,851	0,972	0,894	1,149	1,141	1,009	1,017	1,024	1,585	1,116	1,099	1,041	0,994	0,772	0,839	0,865	0,865
zona afotica	0,631	0,457	0,796	0,381	0,762	0,790	0,901	0,982	1,15	0,731	0,828	0,842	1,061	1,228	0,72	0,587	0,746	0,604	0,845	0,682	0,682
<b>CMD cell 10<sup>6</sup> ml<sup>-1</sup></b>																					
zona eufotica	1,9	1,5	1,2	2,8	9,2	2,1	2,6	1,9	4,0	4,0	3,2	3,3	3,3	2,6	2,6	3,5	3,1	3,7	2,4	1,7	1,7
zona afotica	1,5	1,0	1,1	1,8	1,8	1,5	2,2	0,7	2,0	1,7	2,2	1,6	2,0	1,9	1,3	1,9	1,3	1,8	1,3	1,3	1,1

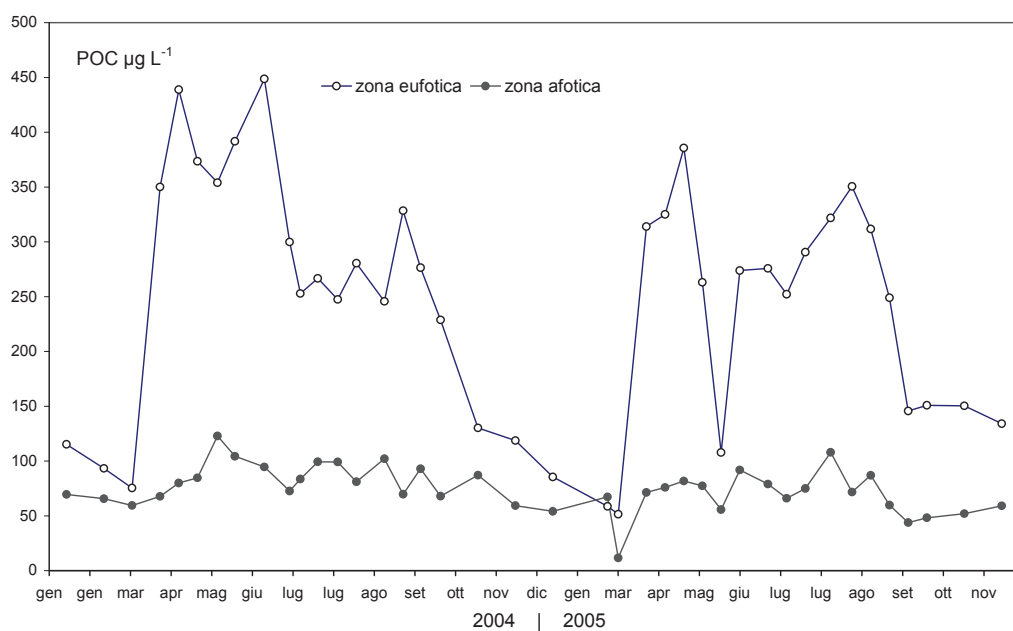


Fig. 3.4b. Valori della concentrazione del POC (carbonio organico particellato con dimensioni >1,2 µm) nelle zone eufotica ed afotica del Lago Maggiore nel 2005.

Passando ad esaminare i risultati relativi ai popolamenti batterici eterotrofi, la loro abbondanza ed il loro biovolume sono stati, come in passato, valutati in un campione integrato 0-20 m, considerato rappresentativo della zona eufotica, ed uno integrato 20-350 m rappresentativo della zona afotica.

L'abbondanza delle cellule batteriche ha presentato una maggiore variabilità nella zona eufotica dove l'influenza dei cambiamenti climatici stagionali e le dinamiche del fito- e dello zooplancton si fanno sentire maggiormente. In questa zona inoltre si ha la principale fonte autoctona di carbonio organico cioè la produzione primaria fitoplanctonica che fornisce il maggiore substrato organico ai batteri.

L'evoluzione temporale del popolamento batterico nel 2005, presentata nel grafico in figura 3.4c, mostra una prima evidente differenza tra la zona eufotica e quella afotica. Il valore medio annuo del numero di batteri nelle due zone è di  $3,02 \times 10^6$  cell ml<sup>-1</sup> e di  $1,59 \times 10^6$  cell ml<sup>-1</sup> rispettivamente.

Nella zona eufotica sono presenti minimi invernali con valori medi di  $1,7 \times 10^6$  cell ml<sup>-1</sup>, un picco molto pronunciato ( $9,2 \times 10^6$  cell ml<sup>-1</sup>) all'inizio della primavera e valori medi di  $3,53 \times 10^6$  cell ml<sup>-1</sup> durante la stagione estiva. L'evoluzione temporale del batterioplancton nella zona afotica appare invece piuttosto costante e con valori di densità del popolamento sempre al di sotto di quelli illustrati in precedenza.

Se si confronta il numero dei batteri del 2005 con quello dei due anni precedenti (Fig. 3.4d) si osserva che i valori più alti sono stati raggiunti nella primavera del 2004 ed i valori minimi nell'inverno 2005. L'andamento del 2005 è molto simile a quello del 2004, mentre nel 2003 sembra essere mancato un alto picco primaverile. La variabilità presente nella zona eufotica è molto attenuata nella zona afotica dove il popolamento sembra essere costante attorno ai 1,4-1,8 milioni di batteri per millilitro.

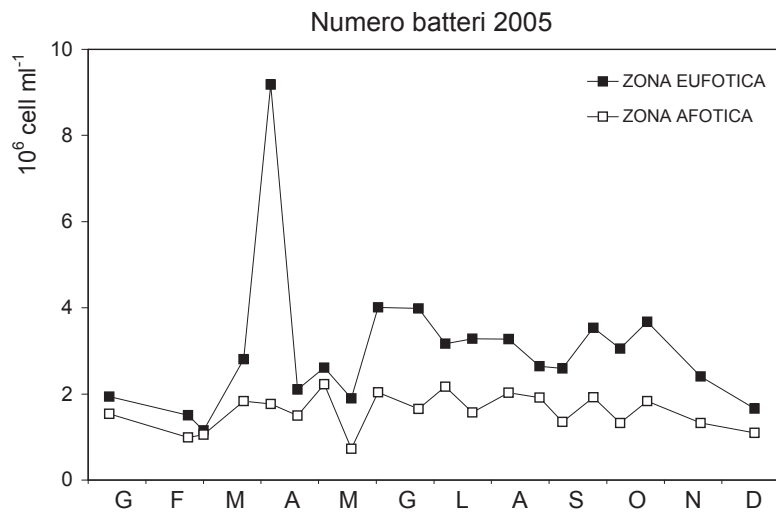


Fig. 3.4c. Variazione del numero totale di batteri nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005.

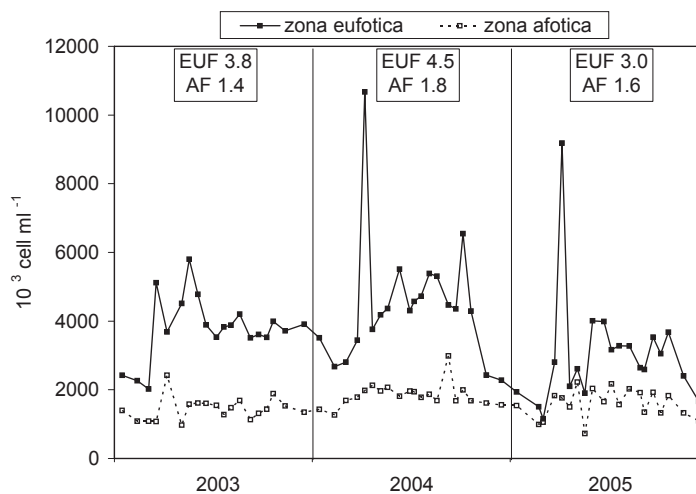


Fig. 3.4d. Variazione del numero totale di batteri nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore, anni 2003-2005. Nei riquadri sono presentati i numeri medi dei batteri ( $10^3$  cell  $ml^{-1}$ ), nelle due zone del lago, nei diversi anni.

Anche dai dati di biovolume batterico totale (Fig. 3.4e) appare evidente la differenza tra la zona eufotica e quella afotica. Tuttavia si osserva una maggiore variabilità, evidente soprattutto nella zona eufotica, nei mesi di Aprile e Agosto. La media annua nella zona eufotica ed afotica è di  $282$  e  $159$   $mm^3$   $m^{-3}$ , rispettivamente.

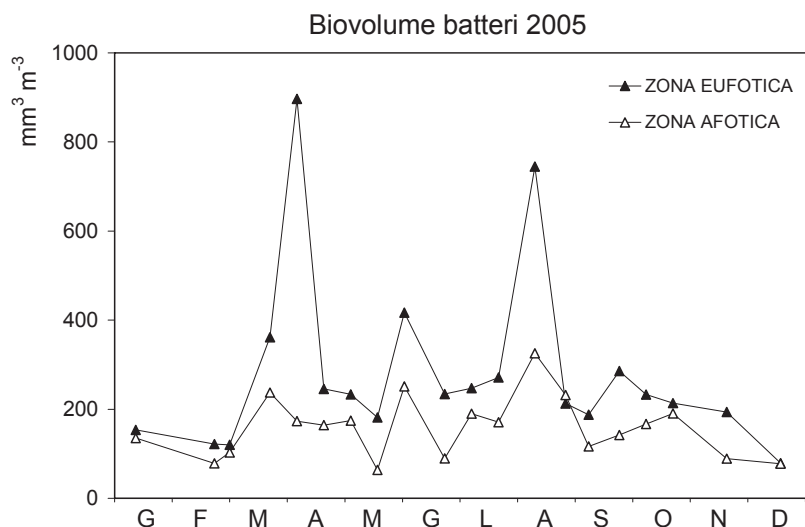


Fig. 3.4e. Variazione del biovolume totale di batteri nella zona euphotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005.

La biomassa batterica è stata calcolata moltiplicando il numero di cellule per il biovolume cellulare medio ed il carbonio è stato calcolato usando il modello allometrico di Norland (1993) ( $m = CV^a$ , cioè  $C = 0,12 \cdot V^{0,72}$ ). L'evoluzione del carbonio batterico, presentata in figura 3.4f, rispecchia bene quella del biovolume e la media annua nella zona euphotica ed afotica è di 65 e 36  $\mu\text{g C l}^{-1}$ , rispettivamente, con valori che sono mediamente quasi il doppio nella zona euphotica rispetto alla zona afotica. Al contrario la percentuale del carbonio batterico sul POC è il 56% nella zona afotica e il 32% in quella euphotica, più produttiva. Questo fatto indica come nella zona del lago meno adatta alla vita di organismi, i batteri siano una componente importante del carbonio particellato totale e la loro attività e composizione andrebbero studiate più in dettaglio per capire se, nei momenti di piena circolazione, un "inoculo" di batteri dal fondo potrebbe colonizzare anche la zona trofogenica e con quale successo.

Per quanto riguarda il biovolume cellulare medio si può notare come nel 2005 il morfotipo coccoide abbia assunto, in momenti particolari, dimensioni considerevoli, in alcuni casi superando le dimensioni dei bacilli. Tuttavia mediamente i bacilli hanno un biovolume maggiore rispetto ai cocci, soprattutto nella zona afotica. Nella tabella 3.4b sono presentate le dimensioni medie dei batteri nell'anno 2005 e un confronto con i dati del 2004. Permane una differenza nelle dimensioni sia dei cocci che dei bacilli nelle due zone ed il volume medio sembra essere lievemente aumentato.

Considerate le fluttuazioni delle dimensioni cellulari, per capire se ci fossero delle differenze nel volume dei batteri delle due zone si è proceduto ad una trasformazione dei dati di biovolume con una funzione di smoothing esponenziale (Statistica6: time series forecasting) che permette di ridurre la "stagionalità" dei dati. In figura 3.4g sono presentati, nel pannello superiore, i dati grezzi di biovolume e nel pannello inferiore quelli trasformati.

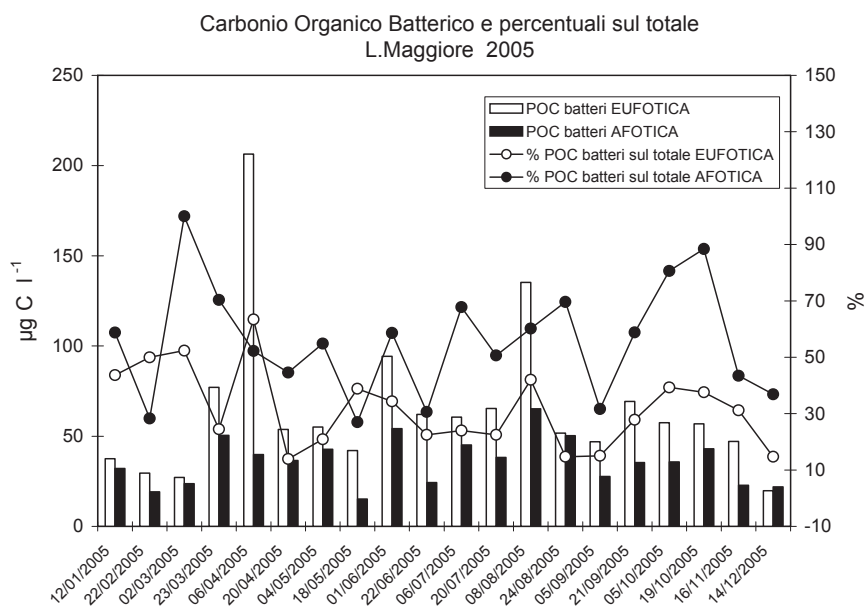


Fig. 3.4f. Variazione del carbonio batterico e della sua percentuale sul POC totale nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005.

Tab. 3.4b. Dimensioni medie dei batteri nel 2005 e confronto con il 2004, L. Maggiore.

2005	asse maggiore	asse minore	volume
	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}^3$
bacilli eufotica	0,682	0,400	0,089
bacilli afotica	0,707	0,407	0,103
cocchi eufotica	0,532	0,445	0,088
cocchi afotica	0,541	0,458	0,093
tot euf			0,088
tot af			0,096

2004	asse maggiore	asse minore	volume
	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}^3$
bacilli eufotica	0,613	0,345	0,062
bacilli afotica	0,644	0,363	0,073
cocchi eufotica	0,450	0,369	0,056
cocchi afotica	0,472	0,394	0,067
tot euf			0,059
tot af			0,069

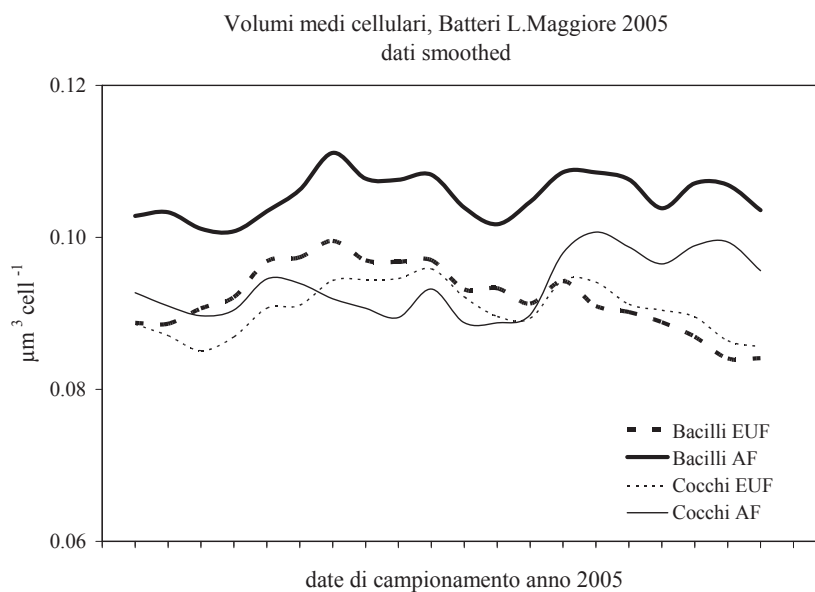
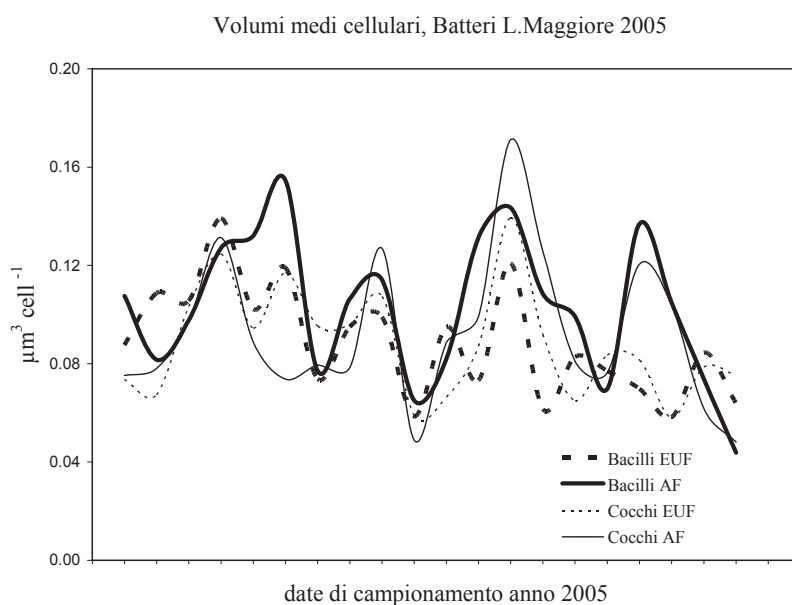


Fig. 3.4g. Variazione del biovolume medio cellulare dei batteri, suddivisi nei morfotipi a cocco e bacillo nella zona euphotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005. Nel pannello superiore ci sono i dati grezzi ed in quello inferiore i dati smoothed.

Il confronto statistico dei volumi medi cellulari dei due morfotipi così trasformati ha mostrato che esiste una differenza significativa con  $P < 0,01$  tra la zona euphotica ed afotica: in quest'ultima i batteri sono significativamente più grandi. Questa differenza può dipendere 1) dalle condizioni fisico-chimiche delle acque ipolimnetiche profonde dove la temperatura può limitare la duplicazione e dove il substrato organico è in

concentrazione inferiore ed è più refrattario, 2) da una pressione di grazing dimensionalmente selettiva, da parte della frazione più grande del microzooplancton, che potrebbe controllare la struttura della comunità nella zona eufotica.

In conclusione lo studio dei popolamenti batterici ha mostrato che i batteri sono numericamente più abbondanti nella zona eufotica rispetto alla zona afotica ma che tuttavia i popolamenti che vivono in profondità sono significativamente più grandi e costituiscono circa il 60% del carbonio organico particellato totale della zona profonda, mentre nella zona eufotica soltanto il 30%.