



## LIFE+ 2008

LIFE+ Programme (European Commission)  
**LIFE+ Environment Policy and Governance**

### Project INHABIT - LIFE08 ENV/IT/000413

*Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes*

#### **ACTION GROUP I3: Proposal of innovative measures for river basin management plans**

- Action I3\_IRSA (month 19-36): Proposal of innovative measures for river basin management plans by IRSA
- Action I3\_ISE (month 19-36): Proposal of innovative measures for river basin management plans by ISE
- Action I3\_PI (month 19-36): Proposal of innovative measures for river basin management plans by ARPA Piemonte
- Action I3\_SA (month 19-36): Proposal of innovative measures for river basin management plans by RAS

### **Deliverable I3d1\_Aggiornato**

Rapporto tecnico – Classificazione dello stato ecologico e variabilità locale dell'idromorfologia/habitat: potenziali effetti sull'efficacia delle misure di recupero e criteri per ridurre l'incertezza

Ecological status classification and local hydro-morphological/habitat variability: potential effects on effectiveness of restoration measures and criteria to overpass inconsistencies

### **Parte B: LAGHI**

Ciampittiello M., A. Marchetto, P. Sala, S. Zaupa, A. Oggioni, A. Boggero, G. Morabito, M. Austoni, P. Volta, I. Cerutti

<sup>3</sup> CNR-ISE - Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Largo Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB)

## INDICE

1. INTRODUZIONE	pag. 9
2. VARIABILITA' METEO-CLIMATICA	
2.1.    Piemonte	pag. 11
2.2.    Sardegna	pag. 18
3. INFLUENZA DELLA IDROMORFOLOGIA SULLA CLASSIFICAZIONE BIOLOGICA	
3.1.    Macrobentos	pag. 24
3.2.    Pesci	pag. 31
3.3.    Macrofite	pag. 41
4. POTENZIALI EFFETTI SULLE MISURE DI RECUPERO E CRITERI PER RIDURRE L'INCERTEZZA	pag. 56
5. INFLUENZA DELLA IDROMORFOLOGIA SULLA CLASSIFICAZIONE BIOLOGICA – AGGIORNAMENTO	
5.1.    Macrobentos	pag. 59
5.2.    Pesci	pag. 69
BIBLIOGRAFIA	pag. 73

## SUMMARY

This deliverable presents a first analysis linking some selected hydromorphological information and quality elements. In particular, we investigated the relationships between biological quality elements (macroinvertebrates, fishes and macrophytes) and some hydromorphological parameters, collected with the Lake Habitat Survey (LHS) method, as the characteristics of the substratum of the littoral and sub-littoral zone, the characteristics of the bank with or without artificial elements, level variations, and human activities in the lake and in the riparian zone, as camping, nautical activities.

In this deliverable we also analyzed some meteorological parameters (precipitations and temperatures pluriannual average) of the two studied Regions, in order to identify peculiarities and to establish if anomalies were registered during the sampling period and to identify possible natural biologic variability connected to particular climatic events.

For each biologic element, numerical analyses were performed to evaluate its response to hydromorphological parameters.

In particular for the macroinvertebrates, we only used data collected in Lake Viverone, as samples collected in both winter and autumn samplings were analyzed. Beside Canonical Correspondence Analysis (CCA) and Redundancy Analysis (RDA), the BQIES index was also calculated, to evaluate if the anthropogenic pressures on the coast can influence the benthic community.

The analysis was performed using as response variable the relative abundance of each taxa, selecting taxa with maximum relative abundance above 1%. Independent variables included the chemical data (TP, TN, alkalinity and percent oxygen saturation), and hydromorphological parameters. The statistical significance of the analyses was checked using a Monte Carlo permutation test.

According to the described numerical analysis, fauna composition in and the sampling stations can be classified in three principal groups, according seasonality and anthropogenic modifications on the littoral zone. Correlations between BQIES indexes and the hydromorphological variables do exist, but did not result statistically significant.

From our analysis, it appears that to better understand the quality of the waterbody, it is necessary to sample the littoral zone in several points around the shore, avoiding points close to inflows.

Concerning fish fauna, data were available 8 lakes or reservoirs, 3 in Piedmont (Candia, Mergozzo, Morasco) and 5 in Sardinia (Serrù, Posada, Liscia, Bidighinzu and Sos Canales). We investigated the relationship between hydromorphological parameters and (1) the number of the species caught with nets, (2) the number of species caught with electrofishing, (3) species abundances, (4) fish weight and (5) fish length. The matrixes for the analysis were built choosing electrofishing points or nets located close to the hab-plots, where hydromorphological characteristics of the riparian zone were evaluated.

Numerical analysis used again CCA with Monte Carlo permutation tests. In particular, two CCAs were performed relating hydromorphological parameters and fish fauna synthetic parameters, such as the number of fish for net/point, the total weight for net/point, the medium length and the medium weight. Monte Carlo permutation test did not detect any significant variable relating habitat features and the species distribution, while the number of collected fishes was more representative of hydromorphological condition.

In general, with this limited dataset the relationships between fish fauna and chemical and physical variables seems stronger than the relationships with hydromorphological features; however it will be possible repeat the analysis with a larger dataset when other InHabit lakes (Viverone, Sirio and Avigliana piccolo) will be sampled.

Concerning macrophytes, numerical analysis were based on data collected on 5 natural lakes in Piedmont: Avigliana Piccolo, Candia, Mergozzo, Sirio and Viverone. We first selected macrophytes sampling transects close to LHS habplots, using a geographical information system, and considering the extension of the macrophyte sampling sites.

The relationships between the hydromorphological parameters and the composition of macrophyte assemblages was the investigated using again CCA and Monte Carlo permutation test, and using percent relative abundances as response variables.

Hydromorphological features of the shore do not significantly influence lake classification based on macrophytes, but a high number of transects is necessary to accurately classify the lake, with a particular attention to the presence of submerge macrophytes, usually located in small areas, to avoid an undervaluation the ecological quality of the lake.

The composition of macrophyte community resulted influenced by substrate features, land use on the shore and the surrounding area.

In one case (Lake Mergozzo), the total lack of macrophytes prevented the possibility to classify the lake quality using this biological element.

To reduce classification uncertainties, it is still necessary to find deeper relationships between hydromorphological pressures and biological elements, macroinvertebrates and macrophytes, investigating a higher number of lakes and specific pressures with a detailed sampling scheme.

More contemporary information will be collected, the better will be the knowledge of lake system and the relationships between human pressures and impacts on the biological quality. A deeper knowledge of these aspects will enable to design more effectively the recovery measures and to reduce the uncertainty in classification and in the detection of the effects of the restoration measures.

A more detailed analysis of the relationships between biological parameters and hydromorphological features will be attempted again when the biological datasets will be improved, and fish sampling completed.

## RIASSUNTO

Il presente *deliverable* rappresenta una prima analisi congiunta delle informazioni idromorfologiche raccolte e degli elementi di qualità campionati, per quei laghi e quegli elementi di cui si sono già ottenuti elaborazioni definitive. In particolare si sono ricercate relazioni tra alcuni dei parametri idromorfologici raccolti con il metodo *Lake Habitat Survey* (LHS), come le caratteristiche del substrato della zona litorale e sub-litorale, le caratteristiche della sponda con presenza o meno di elementi artificiali, presenza di attività umane all'interno del lago e nella zona riparia, come campeggi, attività nautiche e fluttuazioni di livello, e gli elementi biologici più direttamente legati a tali parametri: macroinvertebrati, pesci e macrofite.

Inoltre, all'interno di questo *deliverable* si sono analizzate anche le caratteristiche meteorologiche (precipitazioni e temperature medie pluriennali) delle due regioni oggetto di studio, allo scopo di identificarne le peculiarità e stabilire se nell'anno precedente il campionamento e nei periodi del campionamento si sono registrate anomalie, allo scopo di identificare eventuali variabilità biologiche naturali legate a particolari eventi climatici e per una migliore interpretazione dei dati e delle determinazioni effettuate per ciascun ambiente studiato.

Per ciascuno degli elementi biologici presi in considerazione, si sono condotte analisi statistiche per determinare le relazioni presenti con i parametri idromorfologici più significativi.

In particolare per quanto riguarda i macroinvertebrati si sono utilizzati i dati del solo Lago di Viverone in quanto risulta al momento, l'unico lago con tutti i dati analizzati, sia per quanto riguarda la campagna di campionamento primaverile che quella autunnale. Si sono effettuate l'Analisi Canonica della Correlazione (CCA) e l'Analisi della Rindondanza (RDA) e inoltre si è calcolato l'indice BQIES per valutare se le pressioni antropiche presenti lungo la costa potessero influenzare la comunità bentonica. Le analisi sono state fatte correlando sia i dati biologici, utilizzando le abbondanze relative superiori all'1%, che dati chimici (TP, TN, alcalinità (Alc) e % saturazione ossigeno (%O<sub>2</sub>)), insieme a quelli idromorfologici sopra descritti. E' stato anche effettuato il test di Montecarlo per verificare la significatività tra i parametri.

Secondo quanto emerso dalle analisi statistiche effettuate le pressioni antropiche lungo la costa non influenzano particolarmente le comunità a macroinvertebrati; la fauna e le stazioni si distinguono bene in 3 gruppi principali che seguono le modifiche apportate alla zona litorale e la stagionalità. Esistono comunque correlazioni tra l'indice BQIES e le variabili idromorfologiche analizzate anche se, da un punto di vista statistico non ci sono risultati significativi. Per comprendere meglio la qualità del corpo idrico sarebbe opportuno ampliare il campionamento nella fascia litorale, evitando i punti nei pressi di corsi d'acqua immissari.

Per quanto riguarda i pesci si sono analizzati i dati dei campionamenti effettuati su 8 laghi (Candia, Mergozzo, Morasco, Serrù, Posada, Liscia, Bidighinzu e Sos Canales) e si sono indagate le relazioni tra: il numero di specie catturate con reti multi-maglia e le caratteristiche idromorfologiche; il numero di specie catturate mediante elettropesca e le caratteristiche idromorfologiche; l'abbondanza d'individui, peso totale, medio e lunghezza media del catturato con reti e le caratteristiche idromorfologiche; l'abbondanza d'individui, peso totale, medio e lunghezza media del catturato mediante elettropesca e le caratteristiche idromorfologiche. Le matrici per le analisi sono state costruite scegliendo i punti di elettropesca o relativi alle reti, il più vicino possibile ai punti (*habplots*) nei quali sono state valutate le caratteristiche idromorfologiche della zona riparia, della sponda e

della zona litorale sempre attraverso i parametri idromorfologici raccolti con l'LHS. Le analisi statistiche utilizzate sono state l'Analisi Canonica della Correlazione e il test di Montecarlo; in particolare per quanto riguarda i parametri concernenti l'abbondanza, il peso e la lunghezza delle specie ittiche sono state eseguite due CCA, dove sono stati analizzati il numero di individui per rete/punto, il peso totale per rete/punto, la lunghezza media e il peso medio per rete/punto in relazione alle variabili idromorfologiche considerate.

Il test di Montecarlo non rileva nessuna variabile significativa che correli gli *habitat* e il tipo di campionamento effettuato e gli *habitat* e la distribuzione delle specie. Risulta invece maggiormente correlato con le caratteristiche morfologiche della zona litorale, il parametro relativo all'abbondanza degli individui; pertanto, ai fini di una classificazione che tenga conto dei parametri idromorfologici, l'abbondanza di individui sembra essere il parametro più affidabile e inoltre, il numero di pesci sembra essere più rappresentativo delle condizioni idromorfologiche rispetto alle specie. E' comunque risultato che la fauna ittica, nel complesso, abbia correlazioni più importanti con le variabili chimico-fisiche rispetto a quelle idromorfologiche; con il campionamento del resto dei laghi considerati dal progetto (Viverone, Sirio e Avigliana piccolo), sarà possibile incrementare il dataset. In questo modo si potrà ampliare il numero di punti esaminati ed e ottenere una maggiore significatività delle relazioni analizzate.

Per quanto riguarda le macrofite le analisi condotte si sono basate sui dati raccolti nei laghi naturali piemontesi: Avigliana Piccolo, Candia, Mergozzo, Sirio e Viverone. Si sono cercati abbinamenti tra i transetti di campionamento delle macrofite e la posizione degli *habplots* del LHS, per valutare con quali dati raccolti effettuare le analisi statistiche e cercare le correlazioni tra i parametri idromorfologici e gli indici macrofitici. Per abbinare gli *habplots* con i siti omogenei rilevati, sono state riportate simultaneamente in una stessa cartografia la posizione dei transetti e quella degli *habplots* e, tenendo conto dell'ampiezza di ogni sito omogeneo di campionamento, sono stati selezionati gli *habplots* per cui la distanza rispetto al transetto campionato per le macrofite fosse minore rispetto all'ampiezza del sito stesso. Le possibili relazioni tra i risultati dei rilievi idromorfologici e la composizione della comunità macrofitica sono state esplorate, anche in questo caso, utilizzando l'Analisi Canonica delle Corrispondenze (CCA) e con il test di Montecarlo. I dati utilizzati per le analisi sono state le abbondanze relative delle specie macrofitiche, espresse in percentuale, e i dati dei rilievi degli *habplots* trattati a seconda della scala originaria.

L'esame di questi dati indica che la conformazione idromorfologica della sponda non pare influenzare in modo significativo la classificazione del lago, ma che sia comunque necessario mantenere un numero elevato di transetti, e soprattutto valutare con attenzione la presenza delle macrofite sommerse, normalmente presenti in siti di dimensioni ridotte, per evitare una sottostima della qualità ecologica dei laghi. Inoltre, è emerso che la composizione in specie delle macrofite è correlata alla natura del substrato lacustre, dell'uso del suolo della sponda e di quello di tutta l'area circostante il lago. E' anche possibile sottolineare che la mancanza di macrofite compromette la possibilità di classificazione attraverso l'uso dell'indice MacroIMMI e per definizione non possono essere individuati i siti; che l'uso del suolo a ridosso della sponda e la composizione del substrato sono quelli che maggiormente risultano correlati con la presenza di macrofite, questo indica come la composizione in specie, nei siti stessi, sia particolarmente adatta a rappresentare questo tipo di parametri.

Per quanto riguarda le misure di recupero e i criteri per ridurre l'incertezza, risulta opportuno approfondire maggiormente le relazioni tra le pressioni idromorfologiche e i macroinvertebrati e le macrofite, sia aumentando i campionamenti congiunti dei due

elementi e dei parametri idromorfologici, sia indagando il maggior numero di laghi e pressioni specifiche.

Maggiori informazioni congiunte si riusciranno a ottenere, maggiori saranno le conoscenze del sistema lago e delle relazioni pressioni-impatti che permetteranno di organizzare misure di recupero efficaci e ridurranno le incertezze sia per quanto riguarda la classificazione che per quanto riguarda l'efficacia di tali misure.

Non avendo ancora completato le analisi degli elementi biologici su tutti i laghi non è possibile definire dei criteri specifici per ridurre l'incertezza e pertanto, per lo sviluppo di questo aspetto, si rimanda ai successivi *deliverables*.

## 1. INTRODUZIONE

Prima dell'introduzione della Direttiva Quadro sulle Acque (WFD 2000/60) la valutazione della qualità di un ambiente lacustre veniva effettuata prendendo in considerazione alcuni parametri chimici e microinquinanti chimici, chiamati parametri addizionali secondo la tabella 10 dell'allegato 1 del D.Lgs 152/99. Con l'introduzione del D.Lgs. 152/06 che rappresenta il recepimento italiano della WFD 2000/60, non solo la classificazione avviene tenendo conto dei parametri chimici "storici", che divengono parametri a sostegno, ma essa avviene soprattutto attraverso la valutazione di elementi biologici quali fitoplancton, macrofite, macrobentos e pesci. Un ulteriore elemento importante è stato aggiunto dalla WFD per la valutazione della qualità globale di un corpo idrico lacustre: la qualità idromorfologica. Tale qualità riguarda alcuni parametri idrologici e morfologici che devono essere indagati per poter avere informazioni più precise e approfondite della qualità biologica; inoltre una maggiore conoscenza dei parametri idromorfologici caratteristici di un corpo idrico lacustre permette di ottenere relazioni significative rispetto alla classificazione ottenuta e alle azioni necessarie per il mantenimento di una qualità buona o per un suo miglioramento, così come richiesto dalla normativa. Questo perché gli elementi di qualità biologica rispondono a cambiamenti a piccola e larga scala delle caratteristiche morfologiche e degli *habitat*, sia locali che su estensioni più ampie. Attraverso il progetto INHABIT è stato possibile indagare simultaneamente su 12 laghi suddivisi su due ambienti climatici diversi (Ecoregione Alpina: il Piemonte ed Ecoregione Mediterranea: la Sardegna) tutti i parametri di qualità biologica, gli elementi fisico-chimici a sostegno e le caratteristiche idromorfologiche, valutate attraverso il metodo *Lake Habitat Survey* (LHS), attraverso il quale è stato possibile ottenere informazioni importanti anche sulle caratteristiche degli *habitat* locali e propri di ciascun lago studiato. Per quanto riguarda le caratteristiche idromorfologiche indagate esse sono state soprattutto la gestione attiva delle acque del bacino indagato, per stabilire la presenza o meno di elevate fluttuazioni di livello, le caratteristiche delle sponde, della zona litorale e sublitorale, sia in termini di presenza di artificializzazioni sia in termini di tipologia di materiali e substrati presenti; nonché le attività umane che possono generare degli impatti sulla qualità ecologica. In particolare si è cercato di sovrapporre i punti indagati con il LHS con i transetti o le zone di campionamento degli elementi biologici. Non sempre è stato possibile ottenere una perfetta sovrapposizione per tutti i laghi, sia perché il metodo di analisi idromorfologica prevede 10 punti di indagine (*hab plots*) equidistanti, ogni 14 km<sup>2</sup> di superficie circa, sia perché ogni elemento di qualità è stato campionato secondo specifico protocollo, funzione delle caratteristiche proprie del corpo idrico lacustre indagato (area, profondità). Dove è stato possibile ottenere buone sovrapposizioni si è verificato che alcuni elementi di qualità (es. le macrofite) sono legate al tipo di *habitat*, in particolare di substrato presente, mentre per altri sarebbero necessari più punti di sovrapposizione (es. macroinvertebrati) per potere stabilire una relazione precisa con i parametri idromorfologici e gli *habitat* presenti; per il fitoplancton non si sono trovati sufficienti elementi per determinare una relazione tra parametri idromorfologici e tale elemento di qualità: la dinamica del fitoplancton potrebbe risentire di variazioni estreme del livello idrologico o di flussi di portata in grado di alterare significativamente i tempi di ricambio e condizionare le

dinamiche di mescolamento. Purtroppo, per i laghi campionati nel progetto INHABIT, non sono disponibili dati ed informazioni che permettano di analizzare relazioni di questo tipo né si sono verificati tali effetti durante il periodo di campionamento. I parametri rilevati con il LHS, in quanto relativi prevalentemente alle modificazioni dell'ambiente litorale, pur analizzando anche le fluttuazioni di livello, non sono determinanti nella descrizione della dinamica del fitoplancton pelagico. Gli elementi su cui sono state ricercate possibili interazioni con i parametri idromorfologici sono quindi i macroinvertebrati, i pesci e le macrofite.

Considerando che non sono ancora concluse né le campagne di campionamento né l'attività di laboratorio dei singoli parametri di qualità, non è possibile attualmente, poter definire una relazione definitiva e completa della variabilità naturale, legata agli *habitat* presenti e/o alle caratteristiche idromorfologiche, anche viste come alterazioni delle caratteristiche naturali; di conseguenza anche i potenziali effetti sull'incertezza della classificazione dovute alle caratteristiche idromorfologiche degli *habitat* locali nelle aree di studio non sono ancora totalmente esplicitabili. Si rimanda ai successivi *deliverable* l'approfondimento di tale problematica, congiuntamente alle indicazioni di valutazione e di possibili implementazioni dei futuri piani di gestione.

## 2. VARIABILITA' METEO-CLIMATICA

Si sono analizzate le caratteristiche meteo-climatiche (precipitazioni e temperature medie pluriennali) delle due regioni oggetto di studio, allo scopo di identificarne le peculiarità e stabilire se nell'anno precedente il campionamento e nei periodi del campionamento si sono registrate anomalie di temperatura o precipitazione. Tale valutazione allo scopo di identificare eventuali variabilità biologiche naturali legate a particolari eventi climatici e per una migliore interpretazione dei dati e delle determinazioni effettuate per ciascun ambiente studiato.

### 2.1. Piemonte

La Regione Piemonte è situata all'inizio della Pianura Padana ed è limitata su tre lati da catene montuose che occupano gran parte del territorio. Tali caratteristiche geografiche definiscono e regolano le caratteristiche climatiche della regione, zona di incontro delle masse d'aria continentali provenienti dalla piana del Po, dell'umidità proveniente dal Mediterraneo e delle correnti atlantiche nord-occidentali che interagiscono con i rilievi innescando frequenti circolazioni locali e favorendo la presenza di microclimi. (Cagnazzi et al., 2007).

Utilizzando i diagrammi di Walter e Lieth, si riesce ad effettuare una prima classificazione dei regimi micro-climatici del Piemonte, basandosi fondamentalmente sulla distribuzione interannuale della precipitazioni e identificando così 4 tipologie climatiche principali: (Walter and Lieth, 1960).

- a) *prealpino*, il più diffuso in Piemonte, che mostra due massimi nelle stagioni primaverile (principale) ed autunnale. Le precipitazioni minime si osservano in inverno, anche se non vi è una grossa differenza con i quantitativi estivi;
- b) *subalpino*, si differenzia dal prealpino per il fatto che il massimo autunnale tende ad essere superiore a quello primaverile e si accentua la differenza tra i quantitativi invernali e quelli estivi, a favore di quest'ultimi. Caratteristico della prima cintura alpina, in Piemonte lo si ritrova nella parte più a nord della regione;
- c) *subcontinentale*, tipico della parte nord-occidentale della regione, si caratterizza per i quantitativi di precipitazione estiva che sono quasi sugli stessi livelli dei massimi primaverile (secondario) ed autunnale (principale);
- d) *sublitoraneo*, preponderante nella zona sud-orientale del Piemonte (e nell'alta Val di Susa), mostra un massimo principale di precipitazioni in autunno, inverni generalmente molto umidi ed estati calde. Il relativo climatogramma di Walter e Lieth, evidenzia come in questa stagione la curva delle temperature superi il minimo della precipitazione, suggerendo un tipo di regime climatico tendente a caratteristiche aride.

La temperatura media per ciascuna area è linearmente collegata con la quota cui si riferisce. Nella tabella 2.1.1 sono riportati i valori di temperatura minima e massima medie pluriennali calcolate per il periodo 1958-2009 per ciascun mese, suddivise per fasce altimetriche. Il mese più caldo dell'anno è luglio, mentre quello più freddo è gennaio.

Tabella 2.1.1. Temperature massime e minime medie annue e mensili in °C, suddivise per fasce altimetriche, che possono schematicamente rappresentare rispettivamente: pianura, vallate, media montagna ed alta montagna (ARPA Piemonte, 2010).

Quota (m s.l.m.)	T	Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
< 500	massima	16,9	5,7	8,2	13	16,7	21,4	25,6	28,5	27,5	23,1	17,1	10,5	6,4
	minima	8,2	-0,8	0,5	3,8	7,2	11,8	15,4	17,7	17,2	13,6	9	3,9	0,1
500-1500	massima	12,6	3,6	5	8,2	11,4	15,9	20	22,9	22,1	17,9	13	7,4	4,1
	minima	5,2	-2,5	-1,8	0,7	3,7	8	11,4	13,8	13,6	10,2	6,2	1,4	-1,8
1500-2500	massima	6,5	-0,9	-0,1	2	4,5	8,9	12,7	15,5	14,9	11,4	7,4	2,5	-0,2
	minima	0,8	-6,2	-6,1	-4,3	-1,8	2,8	6,4	9,1	9	6	2,5	-2,3	-5,2
> 2500	massima	0,3	-5,3	-5,5	-4,4	-2,8	1,4	4,8	7,6	7,4	4,9	2,1	-2,2	-4,4
	minima	-3,9	-9,8	-10,1	-9,1	-7,3	-2,8	0,8	3,6	3,6	1,2	-1,8	-6,3	-8,8

Per quanto riguarda le precipitazioni la zona maggiormente piovosa si localizza a nord della regione, con picchi anche superiori ai 1600mm/anno, mentre quella meno ricca di precipitazioni è l'area della pianura alessandrina con quantitativi minori di 700mm/anno. Da notare come la fascia prealpina e la parte più esterna delle Alpi faccia da schermo alle precipitazioni: questo comporta che aree come l'alta Val di Susa registrino quantitativi cumulati di precipitazione ben inferiori alle loro aree circostanti. Nella tabella 2.1.2 sono riportati i quantitativi di precipitazione cumulata media mensile suddivisi per fasce altimetriche. Incrociando informazioni spaziali e i valori di precipitazione medi pluriennali, si nota come le quote intermedie mostrano precipitazioni mediamente superiori sia alle quote più basse sia a quelle più alte; questo rispecchia il carattere principalmente orografico della precipitazione in ambito mediterraneo, dove i quantitativi maggiori si registrano laddove il sollevamento delle masse d'aria umida è massimo. Tuttavia va tenuto in conto la minore disponibilità di stazioni meteorologiche di rilevamento alle alte quote e la non sempre efficace trasformazione da neve a pioggia della precipitazione. (ARPA Piemonte, 2010).

Tabella 2.1.2. Precipitazioni cumulate medie annue (periodo 1958-2009) e mensili in mm, suddivise per fasce altimetriche che possono schematicamente rappresentare rispettivamente: pianura, vallate, media montagna ed alta montagna. Si noti come il mese di aprile risulti il più piovoso anche grazie alla maggiore diffusione del regime climatico prealpino in ambito regionale (ARPA Piemonte, 2010).

Quota (m s.l.m.)	Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
< 500	920,8	51,8	66,5	100	108,1	81,3	52,9	73,4	84,6	106,3	92,6	57,3	46
500-1500	1094,3	56,1	75,4	118,8	133,4	99,9	65,2	85,6	103	130,3	107,9	65,7	52,9
1500-2500	959,4	51,9	65,5	99,4	114,5	89,7	61,1	76,1	87,6	111	90,6	61,3	50,7
> 2500	925,3	50,5	62	93,4	112,8	91	64,4	77,9	82,9	101,6	81,9	57,9	48,9

Ciascuno dei laghi piemontesi oggetto di studio è situato in una particolare zona climatica, o completamente all'interno di uno dei principali microclimi individuati in precedenza o a cavallo di essi.

Per quanto riguarda il Lago Piccolo di Avigliana esso è situato in un bacino che ha quota media tra i 350 e i 500 m s.l.m., in un fondovalle prealpino caratteristico di una pianura

pedemontana. Le valutazioni meteorologiche sul suo areale, riportate qui di seguito, si sono ricavate da Mercalli (2002).

I dati rilevati dalle stazioni meteorologiche ad esso più vicine indicano una variazione termica tra quella di pianura e di vallata, con valori di temperatura invernale mediamente più elevati (1,5°C – 2°C) rispetto a quelli della pianura; in estate le temperature risultano più basse (0,5°C – 1°C) rispetto a quelle della zona pedemontana. L'escursione annua (ovvero la differenza tra il mese più caldo e quello più freddo) è pari a 19,7°C, è perciò inferiore a quella riscontrabile nelle stazioni padane di fondovalle, dove può giungere anche a 22°- 24°C. L'escursione diurna (ovvero la differenza tra il valore minimo e massimo della temperatura giornaliera) è invece più marcata che nelle aree pianeggianti più basse, e può arrivare fino a 12°C.

L'influenza mitigatrice dei laghi di Avigliana sulle temperature, in ragione delle loro modeste dimensioni, è apprezzabile solo entro poche decine di metri dalla riva, dove si manifesta in una riduzione delle escursioni termiche diurne e annue.

Misurazioni occasionali (non vi sono stazioni meteorologiche presso i laghi) condotte sulle rive del Lago Piccolo permettono di rilevare nei pomeriggi estivi sereni una temperatura inferiore anche di 4°C rispetto alla stazione di Ponte Dora. Durante gli episodi di gelo invernale l'effetto di attenuazione degli estremi è meno efficace. L'effetto più vistoso sono le abbondanti brinate fino ad alcuni metri dal suolo sulle zone circostanti i laghi, che danno una parvenza di gelo intenso mentre in realtà la temperatura è di una frazione di grado superiore rispetto alla zona di Avigliana Ponte Dora. L'eventuale gelo della superficie lacustre (frequente sul Piccolo) determina una situazione microclimatica particolare, con una formazione di un cuscino d'aria gelida che, anche a causa della concavità orografica, abbassa di qualche grado sia le temperature minime che le massime sulle zone rivierasche. Il Lago Piccolo di Avigliana, per ragioni legate alla minore superficie e profondità (circa 12 m contro i 26 m del Lago Grande), alla posizione incassata in una piccola depressione e all'assenza di edifici sul perimetro, gela almeno parzialmente nella maggior parte degli inverni, sebbene frequenza, durata ed estensione dei ghiacciamenti siano diminuite dopo la fine degli anni '80, indice climatico di sicuro rilievo. Nei mesi di gennaio lievemente più freddi della media, il ghiaccio inizia a formarsi sulla sponda ovest in genere ai primi del mese, e rapidamente ricopre tutto il lago persistendo fino alla fine di gennaio con spessori che, nella parte ovest (quasi costantemente in ombra nel periodo dicembre-gennaio), presso la riva, possono superare i 10 cm. La fusione ha luogo gradualmente durante i primi giorni di febbraio. In caso di nevicate il ghiaccio superficiale può rimanere a lungo coperto di neve, rendendo ancora più acuta l'influenza negativa sulla temperatura dell'aria nelle immediate vicinanze. Talvolta un rialzo temporaneo della temperatura dovuto al foehn causa una parziale fusione del ghiaccio, limitata al settore centrale del lago, esposto al sole nelle ore intorno al mezzogiorno.

La media delle precipitazioni annue nella stazione di Avigliana, di Arpa Piemonte, è di 927mm è di poco superiore a quella della zona di pianura e inferiore rispetto ai valori registrati nell'Alta Val di Susa, intorno ai 1300 – 1400mm (Colle del Lis). Il lungo corridoio del fondovalle da Avigliana a Susa rappresenta una linea di separazione tra nord e sud

Piemonte e segna un confine piuttosto netto tra le valli più piovose a nord di esso (Alpi Graie) e quelle relativamente più asciutte delle Alpi Cozie, verso il Cuneese.

La frequenza dei giorni piovosi (con almeno 1mm di precipitazione) non è molto elevata nella zona dei laghi di Avigliana e oscilla intorno a 75-80 gg annui. I rovesci di pioggia più violenti, concentrati in tempi brevi, sono prerogativa dei mesi da maggio a settembre-ottobre, e avvengono di preferenza durante i temporali estivi. Il regime pluviometrico è tipicamente prealpino, con massimo primaverile principale (maggio) e uno secondario in autunno (ottobre). Scarse le precipitazioni invernali, stagione di minimo, ben più marcato di quello estivo.

Se ci spostiamo dai laghi di Avigliana verso nord-est, incontriamo i laghi di Candia, Viverone e Sirio, situati all'interno dell'ampio Anfiteatro Morenico di Ivrea. Tale anfiteatro presenta una situazione climatica particolare: le sue porzioni laterali (lungo il versante Sud della Serra sulla sinistra della Dora Baltea e nella zona di Baldissero Canavese sulla destra orografica) presentano un clima relativamente umido, con contenute escursioni termiche, con temperature invernali poco frequentemente rigide e con coperture nevose di minor durata rispetto alla pianura torinese. Questo aspetto favorisce anche l'insediamento di specie vegetali (ed animali in particolare dell'entomofauna) tipiche dei climi più caldi; infatti il limite climatico più importante alla diffusione di tali specie, come precedentemente accennato, è dato dalle "rigidità climatiche" che sembrano, in tali aree, essere meno accentuate. Inoltre l'anfiteatro morenico di Ivrea sembra caratterizzato da una minore continentalità, per motivi legati al regime delle precipitazioni ed al particolare tipo di esposizione: le escursioni medie annue sono comprese nell'intervallo 20 - 21°C. L'effetto di volano termico non sembra essere sufficiente però a mitigare il clima invernale nelle aree prospicienti i laghi minori (Avigliana, Viverone, Sirio e Candia); i relativi volumi d'acqua sono troppo ridotti e in caso di freddo intenso, la copertura di ghiaccio isola le masse d'acqua sottostanti, impedendo ulteriore dispersione di energia termica. Negli inverni relativamente miti la superficie dei laghi è gelata per il solo periodo gennaio - inizio febbraio. In annate più rigide la quasi totalità degli stagni e dei laghi di pianura risulta gelata in superficie nel mese di gennaio. Le eccezioni sono costituite dai laghi Grande di Avigliana e Viverone, le cui superfici gelano eccezionalmente ed in misura molto ridotta. (Perosino e Zaccara, 2006).

Dall'analisi delle precipitazioni medie pluriennali di due diversi periodi di confronto, 1921-1970, dati della Regione Piemonte e 1986-2002, dati meteo misurati dallo strumento posto in prossimità del Lago di Candia, si può verificare la tipologia climatica per quanto riguarda l'andamento delle piogge caratteristico della zona dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea. Tale andamento è caratterizzato da due massimi, in primavera il principale, e in autunno il secondario, e da due minimi, alla fine dell'inverno quello più pronunciato, e in estate il secondario, con valori medi annuali di precipitazioni pari a circa 900mm.

Dall'analisi dei dati di temperatura registrati sia alla stazione di Candia che a quella di Ivrea per il periodo di riferimento 1987-2002, si possono verificare le caratteristiche termiche del territorio in esame caratterizzato da un *clima temperato sub-continentale*, nel

quale la temperatura media annua risulta compresa fra i 10,8°C e i 12,4°C e l'escursione annua risulta superiore ai 19°C.

Andando verso ovest e salendo di quota troviamo il Lago del Serrù, all'interno del Parco del Gran Paradiso e situato ad una quota di 2240 m s.l.m. Dall'analisi dei dati di temperatura a diverse quote, risulta che la temperatura dell'aria diminuisce con la quota secondo la seguente relazione:

$$\frac{T}{H} = \frac{-0,55^{\circ}C}{100 \text{ m s.l.m.}}$$

poco più di quanto indicato da Mennella (1967) per la regione alpina (0,51°C/100 m). Tale valore costituisce una media; in estate il gradiente è maggiore (0,6 - 0,7°C/100 m) che in inverno (0,3 - 0,4°C/100 m). Ciò significa che nella stagione fredda la differenza di temperatura tra le località alpine e quelle di bassa quota è meno rilevante che in estate. Sulle montagne occidentali piemontesi (le più elevate in Italia), da valle a monte, si assiste ad una chiara successione di ambienti analoga, sotto certi aspetti, a quella che si riscontra dall'equatore ai poli per effetto di un gradiente di diminuzione delle temperature medie dell'aria all'aumentare, rispettivamente, dell'altitudine e della latitudine. Se si considerano le sole caratteristiche termiche si può dire che il bacino del Lago del Serrù si trova in un clima rigido alpino, con una temperatura media annuale di 0,77°C e con una escursione annua mediamente di 16,2°C. Per quanto riguarda le precipitazioni si può dire che l'areale del Lago del Serrù sia di tipo *sublitoraneo alpino* caratterizzato da due massimi nelle stagioni primaverile ed autunnale, di cui è moderatamente prevalente il primo e due minimi, di cui quello invernale nettamente inferiore a quello estivo, con un totale medio annuo di 1204mm (Perosino e Zaccara, 2006).

Salendo verso nord e arrivando nella zona più settentrionale della regione, troviamo i due laghi Mergozzo e Morasco, appartenenti al bacino del Lago Maggiore. Il clima di una regione può definirsi di tipo *continentale* quando tale escursione è uguale o superiore a 20°C, mentre è di tipo *marittimo* se è inferiore a 15°C. Nelle regioni mediterranee le escursioni annuali sono inferiori per la mitigazione dovuta ai mari. Un effetto analogo, pur se molto limitato, esercita, nel territorio limitrofo, la massa del Lago Maggiore, infatti le escursioni medie annue delle stazioni meteorologiche più vicine (Locarno Monti, Pallanza, Ispra) risultano avere valori compresi tra 18,4 e 19,9°C; fanno eccezione stazioni più lontane come quella di Domodossola caratterizzata da una escursione media annua di circa 21°C, dovuta ad un clima intermedio (non completamente *continentale* né tipicamente *marittimo*) (Ciampittiello, 1999). Il Lago di Mergozzo, per la sua vicinanza al Lago Maggiore è situato in un clima definito da Mori (1957) "*subregione lacustre*" mentre il Lago Morasco, situato a quote più elevate e ad una maggiore distanza dal Lago Maggiore rientra nella zona climatica della *regione alpina*.

Per quanto riguarda le precipitazioni sia il Lago di Mergozzo che quello di Morasco ricadono nella zona climatica *sublitoranea alpina* caratterizzata da due massimi nelle stagioni primaverile ed autunnale, di cui è moderatamente prevalente il primo e due minimi, di cui quello invernale nettamente inferiore a quello estivo. Per quanto riguarda la

zona del Lago di Mergozzo, essa è caratterizzata da un quantità media annuale di pioggia pari a 1750mm, mentre per quanto riguarda la zona del Lago di Morasco, la pioggia media annuale è pari a 1453mm.

Avendo definito e analizzato le caratteristiche climatiche dell'intera regione e delle zone in cui si situano i laghi studiati, è ora possibile verificare l'andamento meteo-climatico degli anni 2010 e 2011 per verificare se nei periodi precedenti o a ridosso dei campionamenti biologici si siano verificati particolari eventi meteo-climatici o se le caratteristiche meteo-climatiche generali siano state molto diverse da quelle medie o attese.

Dai rapporti di Arpa Piemonte 2011 e 2012 (Cagnazzi et al. 2011; Arpa Piemonte, 2012) e dai rapporti per la protezione delle Acque Italo Svizzere del CNR ISE, Campagne 2012 e 2011 (Ciampittiello et al., 2011; 2012) si è potuto verificare quanto segue.

I primi tre mesi del 2010 sono stati tutti caratterizzati complessivamente da precipitazioni lievemente al di sopra della norma e da temperature prevalentemente sotto la media.

L'ultimo trimestre dell'anno è stato complessivamente freddo e piovoso, un po' come il primo trimestre del 2010. A differenza delle recenti annate e di gran parte del resto d'Italia, il 2010 ha registrato anomalie di temperatura mediamente inferiori alla norma, soprattutto a causa di un inverno ancora particolarmente freddo, anche più del precedente. Rispetto alla norma 1991-2010, l'anno appena trascorso ha fatto registrare una temperatura media sul Piemonte inferiore di circa 1°C, ossia il meno caldo degli ultimi 20 anni.

Le precipitazioni registrate nel corso del 2010 sono state complessivamente al di sopra (20%) della media annuale del periodo di riferimento 1991-2010 su quasi tutto il territorio regionale in particolare nelle zone del novarese e tra il territorio compreso tra il vercellese e l'astigiano, dove l'apporto pluviometrico è stato maggiore anche del 50%, mentre nella parte più a nord, nell'areale del Lago Maggiore le precipitazioni sono state prossime ai valori medi di riferimento. Gli apporti pluviometrici più rilevanti sono stati registrati nelle stagioni primaverile ed estiva, nella maggior parte del Piemonte ma in inverno e in primavera nell'areale del Lago Maggiore. Il mese più piovoso dell'anno è stato maggio. Anche il mese di giugno è stato caratterizzato da precipitazioni persistenti e diffuse su tutto il territorio regionale, collocandosi come il terzo tra i mesi di giugno più piovosi degli ultimi cinquant'anni. Gli unici mesi più secchi rispetto alla media di riferimento sono stati aprile, gennaio, luglio e settembre, quando il deficit pluviometrico è stato più sensibile sulle zone montane e pedemontane dei rilievi nordoccidentali.

Per quanto riguarda il 2011, l'anno in cui si sono concentrate maggiormente le campagne di campionamento, è stato in Piemonte il più caldo degli ultimi 50 anni, con un'anomalia positiva media di 1,6°C, maggiormente accentuata nei valori massimi rispetto a quelli minimi. In particolare nei mesi di aprile ed ottobre sono stati registrati numerosi record storici sulla regione e nei capoluoghi di provincia. Le precipitazioni osservate invece sono state essenzialmente nella norma, seppur concentrate in pochi episodi intensi. Le temperature medie annue sono state ovunque al di sopra della norma, con i valori più alti registrati nel Piemonte settentrionale, in particolare nelle zone montane e pedemontane nordoccidentali. L'anomalia positiva si riscontra sia nei valori massimi (+2,1°C) sia nei

valori minimi (+1,1°C), con le massime che tuttavia hanno fatto segnare un aumento più significativo rispetto alle minime.

Analizzando la situazione più in dettaglio all'interno dell'anno, si osserva che i mesi più caldi sono stati aprile (in particolare la prima metà del mese), maggio, agosto, settembre e dicembre; mentre solo a luglio e nella seconda metà di ottobre le anomalie di temperatura registrate hanno avuto un segno costantemente negativo. Le temperature in assoluto più elevate di tutto l'anno sono state registrate nella seconda decade del mese di agosto, quando si sono stati sfiorati i 39°C nell'Alessandrino.

Nel 2011 le precipitazioni cumulate sono essenzialmente in media con la norma climatica (-4%). In alcune zone delle province di Torino e Cuneo si evidenzia una lieve anomalia percentuale positiva che non supera mai il 40% mentre le aree al confine con la Lombardia fanno registrare un segno negativo, ed in particolare nell'areale del Lago Maggiore si sono avute il 70% di piogge in meno rispetto al periodo di riferimento 1978-2010. In particolare nei capoluoghi si sono registrate sempre precipitazioni inferiori alla norma climatica o nella media, tranne che a Torino dove nel 2011 sono state registrate il 36% in più di precipitazioni totali annue.

Le considerazioni più interessanti si possono tuttavia trarre se si analizza la distribuzione della pioggia nel corso dell'anno. La maggior parte dell'apporto precipitativo si è concentrato in pochi ed intensi episodi a metà marzo, nella prima decade di giugno, a luglio e, soprattutto, durante l'evento alluvionale del 3-8 Novembre.

Da notare che i mesi primaverili di aprile e maggio e quelli autunnali di settembre ed ottobre, ossia nelle stagioni in cui si concentra il maggior apporto di pioggia in Piemonte, hanno fatto tutti registrare anomalie percentuali negative, in alcuni casi anche importanti.

A differenza dell'anno precedente, risultato il più freddo dall'inizio del secolo e nel quale si sono registrate precipitazioni cumulate annue ben al di sopra della norma, il 2011 ha fatto registrare temperature in aumento rispetto alle medie di riferimento (in particolare nei valori massimi) mentre le precipitazioni, mediamente nella norma, si sono concentrate in pochi ma intensi episodi distribuiti nel corso dell'annata.

Qui di seguito sono schematizzati i periodi delle campagne di campionamento di singoli elementi di qualità.

<b>Campagne di campionamento</b>	<b>Periodo</b>
macrofite	luglio, agosto, ottobre 2010 e luglio 2011
pesci	luglio, agosto, ottobre 2010 e luglio, agosto 2011
fitoplancton	Tutte le stagioni del 2011
macroinvertebrati	febbraio-marzo 2011 e settembre-ottobre 2011

Per quanto riguarda le campagne di campionamento durante il mese di luglio 2010, caratterizzato da scarse precipitazioni, non si sono avuti particolari rilevanzze di tale aspetto sugli elementi campionati in quanto il livello dei laghi non erano particolarmente

basso, date le piogge consistenti dei mesi precedenti di maggio e giugno e le elevate temperature del mese non hanno influenzato particolarmente gli elementi campionati, in quanto non continuative nel tempo; le caratteristiche meteorologiche del mese di agosto sono state pressoché nella media. Durante il campionamento della fauna ittica nell'ottobre 2010, nel Lago di Mergozzo, non si sono evidenziate particolari condizioni climatiche né si sono rilevati particolari effetti del precedente periodo caldo e asciutto.

Per quanto riguarda le campagne di campionamento effettuate durante l'anno 2011, particolarmente caldo ad aprile, agosto e a ottobre è difficile, in assenza di dati storici, capire fino a che punto la dinamica delle comunità fitoplanctoniche in particolare, può essere stata caratterizzata da eventi anomali rispetto a quanto si osserva in anni con situazioni climatiche più vicine alla media del periodo di riferimento. Il mese di luglio, contrariamente a quello dell'anno precedente è stato caratterizzato da temperature al di sotto della media pluriennale e da una quantità di pioggia particolarmente abbondante; tali caratteristiche meteo-climatiche non hanno però evidenziato alcun effetto particolare sugli elementi biologici campionati.

## 2.2. Sardegna

La Sardegna è la più occidentale delle regioni Italiane ed essendo circondata dal mare presenta un clima marcatamente Mediterraneo che viene generalmente classificato come *Mediterraneo Interno*, caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde. Da un punto di vista più generale, il Mediterraneo può essere considerato come una fascia di transizione tra le zone tropicali, dove le stagioni sono definite in accordo alla quantità di pioggia, e le zone temperate, dove le stagioni sono caratterizzate dalle variazioni di temperatura. Di conseguenza si ha a che fare con grandi variazioni interstagionali di precipitazione accompagnate da variazioni di temperatura, senza che però le une le altre raggiungano i valori estremi tipici delle due aree climatiche (tropicale e temperata) (Critchfield, 1983; Martyn, 1992).

Le caratteristiche meteorologiche della Regione Sardegna sono state ricavate dal sito <http://www.centrometeoitaliano.it/il-clima-della-sardegna/> e da Chessa e Delitalia (1997).

Le piogge sulla Sardegna non sono in genere abbondanti e si concentrano prevalentemente durante il semestre freddo; sono spesso a carattere di rovescio, a volte intense e non durature. Risultano molto scarse nel Campidano e lungo le coste Meridionali, dove cadono meno di 400mm, valori confrontabili con quelli delle zone semiaride, mentre si attestano tra i 600-700mm sulle zone interne collinari e più in generale su gran parte dei settori dell'Isola. La piovosità maggiore viene raggiunta sul Gennargentu, dove le precipitazioni possono cadere in forma nevosa durante la stagione invernale, superando i 1000mm. Il versante Occidentale della Sardegna risente maggiormente delle correnti oceaniche e infatti le precipitazioni raggiungono e superano i 700-800mm annui; durante l'Estate tale area risulta essere tra le più asciutte dell'Isola. Proprio nel periodo estivo le piogge possono mancare per mesi, conferendo un'accentuata aridità al territorio.

La Sardegna, lontana da ostacoli orografici, è spesso battuta da intensi venti in qualsiasi stagione dell'anno. I venti più frequenti e forti sono il Maestrale, lo Scirocco ed il Libeccio che in Inverno danno luogo a piogge e mareggiate, mentre spesso in Estate rendono il clima molto secco e favoriscono il propagarsi degli incendi. In Inverno lo Scirocco richiamato da perturbazioni Afro-Mediterranee apporta intense ondate di maltempo sulla Sardegna Meridionale, mentre il Libeccio ed il Maestrale favoriscono le piogge sulla parte Occidentale; sono proprio tali correnti occidentali a determinare la maggior piovosità di questa parte dell'Isola. Il Maestrale è anche responsabile di episodi di freddo e neve invernale, trasportando l'aria artica che sfocia nel Mediterraneo dalla Valle del Rodano. In Estate lo Scirocco porta con sé aria dai deserti Nordafricani molto calda ed asciutta che spesso si accompagna al pulviscolo Sahariano ed a temperature elevatissime.

Da un punto di vista della temperatura la Sardegna si presenta con Estate molto calde ed Inverni miti. Le temperature medie annuali si attestano tra i 15 ed i 18°C. In Estate le temperature oltrepassano i 30°C su quasi tutto il territorio e durante la circolazione di aria calda possono tranquillamente raggiungere la soglia dei 40°C; grazie alla bassa umidità e alla presenza di vento quasi costante il caldo risulta comunque sopportabile. D'Inverno le temperature restano miti specie nelle coste, mentre possono scendere sotto gli 0°C sui settori interni e in quota. Le irruzioni fredde causano talvolta repentini crolli delle temperature con nevicata che localmente possono raggiungere le zone di pianura o le coste; si tratta di episodi brevi, sostituiti in breve da masse d'aria più miti. D'estate celle di alta pressione arrivano ad interessare tutto il bacino del Mediterraneo, dando vita ad una zona di forte stabilità atmosferica che nei mesi di giugno, luglio e agosto, può dare origine ad un regime tipicamente subtropicale arido, favorendo situazioni di cielo sereno con temperature massime elevate, anche se accompagnate da escursioni termiche di discreta entità. D'inverno le medesime celle restano confinate al Nord-Africa e lasciano il Mediterraneo esposto a flussi di aria umida di provenienza atlantica o di aria fredda di provenienza polare. La distribuzione spaziale della media annuale della temperatura dell'aria risente fortemente dell'orografia. Per quanto riguarda i valori medi mensili, le variazioni tra un mese ed il successivo permettono di individuare due precisi periodi di marcate transizioni marzo-aprile e settembre-novembre, che delimitano le due stagioni climatiche tipiche delle regioni mediterranee, così come i due periodi luglio e agosto, dicembre e febbraio con temperature medie sostanzialmente costanti. Eventi estremi durante i quali si sono registrate temperature superiori ai 45°C sono riferibili alla fascia centrale dell'Isola, in particolare al Campidano, dove comunque in estate si registrano, mediamente le temperature maggiori. Per contro, i freddi più intensi si sono registrati nelle zone di montagna, raggiungendo temperature inferiori ai -8°C e in momenti eccezionali si sono avuti casi anche a quote più basse.

Da un'analisi delle precipitazioni annuali si evidenziano quattro zone piovose: le aree a ridosso del Gennargentu (Barbagie, Ogliastra e zone limitrofe), la parte centrale della Gallura (a ridosso del Limbara), l'altopiano di Campeda e infine l'Iglesiente. La Nurra ed il Campidano si presentano come zone secche, assieme ad una terza, di più difficile delimitazione, localizzabile nella fascia centrale del Nord-Sardegna (attorno al bacino del Coghinas). Anche per quanto riguarda le precipitazioni si osserva la presenza delle due

stagioni identificate in precedenza per le temperature: una relativa al periodo che va da ottobre ad aprile, e l'altra che si estende da maggio a settembre. Il passaggio fra le due stagioni è particolarmente marcato fra settembre ed ottobre, in corrispondenza del quale, per le zone piovose, si va da valori di 40-60mm a valori di 80-160mm, mentre risulta meno evidente il passaggio fra aprile e maggio. Il massimo valore di precipitazione si registra a dicembre mentre luglio e agosto sono i mesi più secchi, con solo qualche rara precipitazione sui rilievi. Per quanto riguarda la frequenza delle precipitazioni si può dire che le zone in cui piove più spesso sono il Gennargentu, il Limbara e l'altopiano di Campeda, dove si hanno mediamente più di 80 giorni piovosi all'anno; mentre per quanto riguarda gli eventi di precipitazione più intensi si sono registrati in località appartenenti alle zone centro-orientali e sud-orientali dell'Isola.

Per quanto riguarda le zone in cui si trovano i laghi oggetto di studio, per ciascuna si sono cercate informazioni specifiche sul clima locale. Partendo dalla costa a nord-ovest e andando verso la zona centrale troviamo dapprima la Nurra una zona caratterizzata da un clima caldo-arido dei mesi estivi con presenza di forte vento Maestrale, dove si trova il Lago Baratz. Spostandosi poi verso est si trova il Comune di Ittiri; il clima di Ittiri, essendo molto esposto alle correnti da ovest e nord ovest, è tipicamente mediterraneo, influenzato in parte dalla vicinanza con il mare; qui si trovano i tre bacini artificiali del Cuga, del Bidighinzu e del Lago del Temo, caratterizzati da estati secche e inverni miti. Durante gli inverni è possibile assistere ad alcune nevicate soprattutto a fine gennaio primi di febbraio. (<http://www.qsl.net/is0jxo/ittiri.htm>).

Andando verso sud, nella parte centrale si incontra la zona della Barbagia, dove si trova il Lago Torrei; essa è caratterizzata da un clima rigido di inverno e afoso d'estate con precipitazione mediamente più elevate rispetto alla media del territorio.

Risalendo verso nord e procedendo in direzione nord-est troviamo i laghi Sos Canales e Posada. In questa zona l'inverno risulta piuttosto mite: la temperatura media minima del mese più freddo si attesta intorno a valori di 3-4°C. La stagione fredda dura solitamente circa due mesi. Le precipitazioni annue, raramente nevose, sono maggiormente presenti in autunno e inverno diminuendo nettamente in primavera e diventando estremamente scarse in estate. Il clima può essere definito di tipo semiarido ma senza le abbondanti precipitazioni in inverno e con elevata siccità in estate.

Risalendo verso la punta nord della Sardegna si trova la Gallura, nella quale è situato il Lago Liscia. Questa zona è caratterizzata da un clima che risente della relativa vicinanza del mare e che risulta prevalentemente mite e relativamente piovoso in inverno e caldo e asciutto, in estate.

Dal sito dell'Agenzia Regionale Per La Protezione dell'Ambiente della Sardegna (<http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/riepiloghimensili/mensili.asp>) è stato possibile ricavare alcune informazioni riguardanti la caratteristiche meteo-climatiche del periodo ottobre 2009-settembre 2010, anno precedente ai primi campionamenti del Progetto INHABIT.

L'analisi del regime pluviometrico evidenzia che le precipitazioni complessive dell'annata sono state leggermente inferiori alla media, con un deficit più marcato nelle zone di montagna. Le temperature medie dell'annata risultano superiori alla media climatologica 1961-1990 di 1,3°C, in accordo con le recenti analisi sul riscaldamento globale in Sardegna. Occorre, tuttavia, rilevare che si è trattato di un anno meno caldo rispetto al precedente. (ARPAS, 2010).

Si può osservare che le precipitazioni del periodo vanno da poco più di 400mm/anno dell'estremo Sud dell'Isola, sino a oltre 800mm/mese nelle zone di montagna del centro-Nord e sulla Planargia-Marghine. Nel complesso, in Sardegna le precipitazioni dell'annata risultano generalmente inferiori alla media, eccezion fatta, per la Planargia-Marghine e per pochi altri territori. Particolarmente deficitarie risultano le piogge della Barbagia e dell'Ogliastra, in particolare sulle aree montane che hanno registrato un rapporto tra le precipitazioni dell'annata e la media climatologica inferiore all'80%. Se si confrontano questi valori con la media climatologica si osserva che, nonostante siano state poco abbondanti, le precipitazioni del 2009-2010 sono state frequenti, cioè caratterizzate da un numero di giorni piovosi nella media o superiore alla media fino a +30%. Il deficit pluviometrico complessivo è la conseguenza del deficit della stagione piovosa, cioè del periodo ottobre 2009 – aprile 2010. Si può rilevare che il trimestre ottobre-dicembre è stato caratterizzato da piogge fortemente deficitarie, il trimestre gennaio-marzo le ha avute leggermente superiori alla media, aprile è stato in linea col clima e, infine, le piogge di maggio-settembre sono risultate nuovamente superiori alla media. (ARPAS, 2010).

Per quanto riguarda il periodo successivo, ottobre 2010-settembre 2011 si riportano le condizioni meteo-climatiche della regione, facendo sempre riferimento ai rapporti di ARPAS (<http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/riepiloghimensili/mensili.asp>) e tenendo presente che tale periodo risulta a cavallo dei campionamenti effettuati per il Progetto INHABIT.

Per tale periodo l'esame delle principali grandezze climatologiche ha mostrato un persistere del trend pluridecennale crescente delle temperature medie e del numero di giornate estive (cioè con temperature massime superiori ai 30°C), ma ha confermato un rallentamento del riscaldamento globale, almeno per quel che riguarda la specifica situazione della Sardegna. Le precipitazioni dell'annata sono state superiori alla media sia come valori totali che come numero di giorni piovosi, in accordo con quanto accaduto nel decennio appena concluso. È importante segnalare il valore elevato delle precipitazioni del trimestre gennaio-marzo che sembra indicare che anche le precipitazioni di questo trimestre, dopo un lungo deficit iniziato alla fine degli anni '80 del XX secolo, si sono riportate sui valori storici. (Fiori et al., 2011).

Le precipitazioni del periodo ottobre 2010-settembre 2011 risultano comprese tra i circa 400mm/anno della costa Sud-orientale, i 500-600mm/anno delle zone pianeggianti, i 700-900mm/anno delle aree collinari e pedemontane, e sino agli oltre 1000mm/anno delle Barbagie e dell'Ogliastra. Si tratta di valori in linea con la media annuale nella parte centrale e sudorientale della Sardegna e di valori superiori alla media altrove. Nella parte orientale e settentrionale dell'Isola, è piovuto più della media con punte sino al 40% in più

rispetto a quello che solitamente si ha nei dodici mesi. Su quasi tutta la Sardegna le piogge dell'annata si sono distribuite in un numero di giorni compreso tra i 70 e i 90, con piogge più frequenti nelle zone di montagna e piogge più rare lungo la costa meridionale e orientale dell'Isola. Si tratta di valori in linea con la media della parte occidentale dell'Isola e di valori superiori alla media sulla Sardegna orientale. (Fiori et al., 2011)

Analizzando i singoli mesi nel dettaglio, si può dire che su gran parte dell'Isola le precipitazioni del mese di gennaio 2011 sono risultate comprese tra 50 e 80mm/mese. Le piogge di febbraio mostrano una Sardegna divisa in due. La parte orientale dell'Isola dove si sono registrate precipitazioni quasi ovunque superiori ai 100mm/mese, con punte di oltre i 200mm/mese in Ogliastra, corrispondenti a valori sino a 2,2 volte la media pluriennale. La parte centro occidentale della Sardegna, invece, ha avuto piogge comprese tra i 40mm/mese del Campidano agli 80mm/mese del Marghine; si tratta di valori in media o inferiori alla media sino al 40%. Le precipitazioni di marzo sono state caratterizzate da una elevata variabilità con valori sopra e sotto la media in differenti zone dell'isola. Nel complesso il trimestre gennaio-marzo 2011 è stato più piovoso della media, e conferma il trend crescente delle precipitazioni del primo trimestre dell'anno in corso da un decennio. Se il suddetto trend continuerà ancora, si potrà considerare chiuso il lungo periodo di precipitazioni deficitarie del trimestre gennaio-marzo che aveva caratterizzato il clima della Sardegna dal 1987 al 2008. (Fiori et al., 2011).

La precipitazione mensile di aprile mostra un evidente gradiente longitudinale, con valori decisamente più elevati sul settore orientale dell'Isola. Le precipitazioni di maggio sono state modeste e limitate alla parte centrale e sudoccidentale della Sardegna. La distribuzione spaziale delle piogge di giugno è stata fortemente disomogenea e riflette il carattere prevalentemente convettivo e di rovescio. I totali mensili più alti sono stati al centro-Nord della Sardegna: dagli oltre 70mm/mese del settore Nord-occidentale dell'Isola a valori sotto i 10mm/mese del Sud, passando per i 40mm/mese circa di vaste aree del nuorese. Le piogge di luglio hanno interessato in maniera prevalente il centro-Nord dell'Isola, con valori che vanno dai 10 ai 40mm/mese, distribuiti tra 1 e 3 giorni. Considerato che questo mese è generalmente caratterizzato da quasi totale assenza di pioggia, le piogge di luglio 2011 sono da considerarsi decisamente peculiari. Le piogge in agosto sono state quasi assenti. Le precipitazioni di settembre vanno dai circa 20mm/mese (distribuite su 3-4 giorni) delle zone costiere agli oltre 50mm/mese (distribuite su 6-7 giorni) delle zone interne dell'Isola. Si tratta di valori in linea o superiori alla media stagionale nella parte centrale dell'Isola e di valori inferiori alla media nella sua parte meridionale. Le piogge di maggio-settembre risultano nel complesso deficitarie, in controtendenza con l'andamento secolare che è stato caratterizzato da una lenta crescita delle piogge di questo periodo dell'anno. (Fiori et al., 2011).

Il mese di ottobre 2011 è stato decisamente secco. Gli apporti complessivi del trimestre agosto-ottobre sono stati decisamente deficitari e solo in alcune aree circoscritte, per lo più localizzate al Sud, i valori totali si sono approssimati alla media climatica. Nel Nuorese e nella Nurra si riscontrano le anomalie più significative, con rapporti sulla media intorno al

25% e differenze prossime o superiori a -100mm, con indicazioni di clima da siccitoso a estremamente siccitoso. (Peana et al., 2011).

Le medie delle temperature massime di ottobre-settembre sono comprese tra i 12°C delle zone di montagna e i 22-24°C del Campidano e delle parti più interne dell'Isola. Le medie delle temperature minime vanno invece dai 2°C delle aree montane ai 14-16°C delle pianure costiere. Le medie delle temperature minime delle aree costiere, sono intorno ai 12°C, mentre le medie delle massime si assestano su i 20-22°C. Il confronto con i valori pluriennali indica che le temperature massime del 2010-2011 sono state superiori alla media di +1,5°C, mentre le minime hanno superato la media di +1,3°C. Rispetto all'annata precedente le massime risultano più elevate di +0,2°C mentre le minime non mostrano particolari variazioni. La temperatura media dell'annata è in linea con l'andamento secolare; gli effetti del riscaldamento globale sono stati molto forti nel periodo 1991-2007, mentre in anni recenti mostrano un rallentamento, seppure dentro un trend ancora crescente. (Fiori et al., 2011).

Il primo semestre dell'annata è stato caratterizzato da temperature con un andamento regolare, fatte salve delle anomalie negative a ottobre, dicembre e febbraio. L'andamento del secondo semestre, invece, ha avuto un andamento molto più irregolare: aprile e maggio hanno avuto delle temperature massime superiori alla media; giugno e luglio dei valori inferiori alla media sia nelle minime sia nelle massime; l'ultimo bimestre, infine, è stato caratterizzato da temperature superiori alla media stagionale, in particolare settembre che è stato eccezionalmente caldo. (Fiori et al., 2011)

Tenendo conto che le campagne di campionamento sono state condotte secondo quanto riportato qui di seguito:

<b>Campagne di campionamento</b>	<b>Periodo</b>
macrofite	giugno 2011
pesci	ottobre 2011
fitoplancton	Tutte le stagioni del 2011
macroinvertebrati	febbraio-marzo 2011 e settembre-ottobre 2011

Si può dire che nonostante l'elevata variabilità meteo-climatica del 2011, piogge abbondanti in alcuni periodi e in altri temperature elevate e siccità, non si sono riscontrati particolari indicazioni di effetti del clima sui diversi elementi biologici campionati durante tali periodi. E' molto probabile che effetti particolari sulle biocenosi siano dovuti al permanere per diverso tempo di alcune caratteristiche climatiche (es. siccità) che nel 2011 non si sono riscontrate in modo particolarmente continuativo. Non risultano quindi particolari evidenze di variabilità naturale legata alla variabilità climatica del 2011 e del precedente periodo valutato.

### 3. INFLUENZA DELL' IDROMORFOLOGIA SULLA CLASSIFICAZIONE BIOLOGICA

#### 3.1. Macrobentos

##### 3.1.1. *Metodi*

La fauna a macroinvertebrati è stata analizzata per evidenziare le possibili correlazioni esistenti in presenza di attività antropica a livello della costa, valutando quali sono i parametri idromorfologici che maggiormente vanno ad influenzare la struttura di comunità. Inoltre, si sono caratterizzati i punti di campionamento litorali, utilizzando dati biologici, chimici e parametri del LHS (*Lake Habitat Survey*) specifici.

Per ottenere ciò, sono stati analizzati i dati conseguiti fino ad ora, limitando l'analisi solamente ad uno dei sei laghi naturali del Piemonte, il Lago di Viverone, in quanto, avendo un'area superficiale superiore a 5 km<sup>2</sup>, il protocollo nazionale di campionamento prevede il posizionamento di tre diversi transetti che permettono quindi una qualche elaborazione di tipo statistico. Inoltre, al momento, risulta essere l'unico lago con dati definitivi riguardanti entrambe le campagne di campionamento.

Si rimanda ad analisi successive per i dati relativi agli altri laghi Piemontesi, sia per quanto riguarda la prima che la seconda campagna di campionamento.

La metodica e la programmazione dell'attività di campionamento si è basata su quanto previsto dagli Standard ISO relativi al campionamento in acque profonde e alla conservazione del campione (ISO 5667-4, 1987; ISO 9391, 1993; ISO 5667-3, 1994) e dalle linee guida adottate a livello nazionale (Bazzanti et al., 2007; Boggero et al., 2011), seguendo la modalità "di minima", che prevede la raccolta di campioni in due periodi stagionali estremi per gli ambienti lacustri: la circolazione e la stratificazione. I campioni sono stati prelevati, tramite draga, lungo 3 transetti, in replicati di 3 per sito a tre diverse profondità, rappresentative rispettivamente delle tre fasce batimetriche generalmente riconosciute come rappresentative dell'epilimnio, del metalimnio e dell'ipolimnio. Si ribadisce che in questa sede si è fatto riferimento ai soli dati rappresentativi della fascia litorale, ipotizzando che siano quelli maggiormente soggetti a modificazione nella composizione della comunità, in seguito a variazione della linea di costa data dalla presenza antropica. I campioni biologici raccolti sono stati sottoposti a *sorting*, identificazione tassonomica spinta (specie, laddove possibile) e conteggio, utilizzando sia uno microscopio stereoscopico (80x) che un microscopio (1000x). Per quanto riguarda gli aspetti fisico-chimici, i campioni sono stati prelevati tramite bottiglie a strappo alle medesime profondità previste per il campionamento biologico. Le analisi sono state eseguite secondo le modalità in uso presso il CNR-ISE (Tartari & Mosello, 1997).

Nell'analisi statistica successivamente presentata, i codici sono rappresentati da: nome del lago (Vi=Viverone); dal numero del transetto (T1, T2, T3) e dal periodo di campionamento (C=Circolazione, S=Stratificazione).

Per l'esecuzione delle analisi statistiche, sono stati presi in considerazione solamente alcuni parametri chimici quali: TP, TN, alcalinità (Alc) e % saturazione ossigeno (%O<sub>2</sub>), in

quanto maggiormente correlati con gli aspetti biologici. Altri parametri, di tipo chimico e morfometrico, utilizzati in analisi precedenti, quali la temperatura, la profondità del lago e di campionamento, l'area del lago e l'altitudine, non sono stati utilizzati, dato che presentavano valori uguali per tutte le stazioni, e risultavano quindi ininfluenti per questo tipo di analisi.

Per quanto riguarda i parametri derivati dall'applicazione del LHS, si è proceduto ad una eliminazione dei valori che risultavano uguali nei tre punti, in quanto anch'essi ininfluenti. Tutti i dati abiotici sono infine stati trasformati in *Log10* prima di applicare l'analisi, mentre i dati biologici, considerando solamente le specie con abbondanze relative superiori all'1% (eliminando quindi le specie rare), sono stati trasformati in radice quadrata. I dati sono stati quindi elaborati tramite CCA (Analisi Canonica della Correlazione) ed RDA (Analisi della Ridondanza) utilizzando il programma di elaborazione statistica CANOCO 4.5 (ter Braak & Smilauer, 2002). Infine è stato considerato il BQIES (Indice di Qualità Bentonico, Rossaro et al. 2011) per valutare se le pressioni antropiche presenti lungo la costa potessero influenzare la comunità bentonica.

### 3.1.2. Risultati

La zona litorale del Lago di Viverone è stata campionata in tre punti, per ognuno dei quali sono stati raccolti tre replicati, successivamente mediati. Nelle due campagne di campionamento, sono stati raccolti ed identificati complessivamente un totale di 419 organismi. In particolare, nella campagna primaverile, con il lago in piena circolazione, e nella campagna autunnale, con il lago in stratificazione, sono stati raccolti rispettivamente 201 e 218 organismi.

Come visto prima, sono state incluse nell'analisi solamente le specie che presentavano abbondanze maggiori dell'1%. Queste sono rappresentate da 19 taxa: *Dero* sp., *Nais* sp., *Stylaria lacustris*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Branchiura sowerbyi*, *Ilyodrilus templetoni*, *Potamotrix heuscheri*, *Potamotrix hammoniensis*, *Tubifex tubifex*, *Procladius choreus*, *Chironomus plumosus*, *Pseudochironomus* sp., *Cladopelma viridulum*, *Dicrotendipes* gr. *tritonus*, *Einfeldia* gr. *insolita*, *Polypedilum* gr. *nubeculosum*, *Cladotanytarsus* gr. *mancus*, *Dugesia tigrina* e *Ecnomus tenellus*.

Sono state eseguite tre tipi di analisi statistiche.

Nella prima analisi sono stati introdotti tutti i dati prima descritti, con le opportune trasformazioni: i valori biologici (con abbondanze maggiori dell'1%) i valori chimici (TN, TP, alcalinità e % di saturazione di ossigeno) e le variabili dell'LHS scelte. Sullo stesso gruppo di dati è stato eseguito anche il test di Monte Carlo (499 permutazioni,  $p < 0,05$ ), per vedere quali sono le variabili significative sulla distribuzione delle specie e la "separazione" dei tre punti di campionamento (Fig. 3.1.1). Nel nostro caso, tutte le variabili presentavano valori superiori al livello di significatività richiesto, e sarebbero quindi state da scartare.

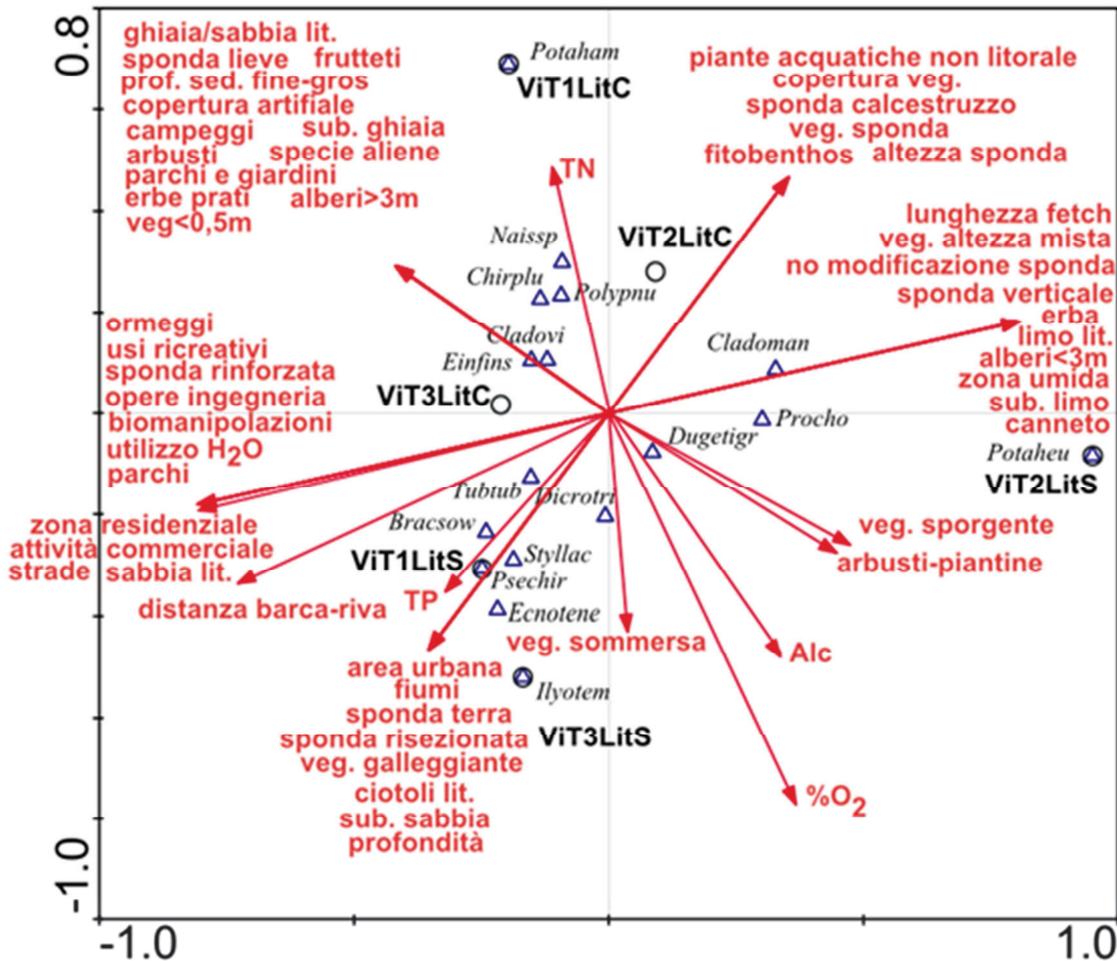


Fig. 3.1.1 – Ordinamento delle stazioni di campionamento lungo i primi due assi della CCA (abbondanze, variabili chimiche e idro-morfologiche). Per ulteriori spiegazioni vedere il testo.

Anche se il test di Monte Carlo, non indica una correlazione significativa, la varianza spiegata dai primi due assi è pari al 55% e l'analisi statistica separa bene le stazioni di campionamento.

L'asse 1, che spiega il 29% della varianza, è legato ai parametri idromorfologici che evidenziano la separazione dei tre punti di campionamento. Il punto ViT2Lit, infatti, sia in circolazione che in stratificazione, si differenzia nettamente dagli altri due, e risulta correlato positivamente con le variabili idromorfologiche che caratterizzano ambienti più naturali, e negativamente con gli altri parametri legati ad ambienti soggetti ad antropizzazione. È contraddistinto infatti, da un'elevata percentuale di vegetazione, sia lungo il litorale che sulla sponda, che non presenta alcun tipo di modificazione. La fascia riparia mostra una copertura vegetale mista con alberi bassi e di media altezza e prati, mentre è rappresentata da canneto in acqua, inoltre è correlata alla presenza di alghe fitobentoniche e ad un substrato con sedimento limo-argilloso.

Le stazioni ViT1Lit e ViT3Lit, invece presentano caratteristiche tipiche di ambienti antropizzati, correlati positivamente ad alterazioni ambientali e negativamente con caratteristiche di *habitat* naturali. Tali punti presentano modificazioni della sponda (rinforzata e/o risezionata) con copertura di tipo artificiale, molte strutture legate all'attività

turistica, quali campeggi, parchi, centri residenziali e commerciali, e zone coltivate a frutteto. La copertura vegetale risulta essere semplificata e rappresentata da prati alternati ad alberi alti, con presenza di specie alloctone. La zona litorale, soggetta a biomanipolazione, presenta ormeggi e punti d'ancoraggio, ed è caratterizzata da un substrato più grossolano (ghiaia/sabbia e ciottoli) probabilmente di riporto.

L'asse 2 risulta invece legato a parametri di tipo chimico, con una varianza spiegata del 26%.

Questo asse mostra una correlazione negativa con la quantità di fosforo totale, l'alcalinità e la % di saturazione dell'ossigeno, e una correlazione positiva con l'azoto totale.

L'asse 2 inoltre, separa le stazioni anche sulla base della stagionalità, con i campioni raccolti durante il periodo primaverile (C=Circolazione) nella parte alta del grafico, e quelli del periodo autunnale (S=Stratificazione) nella parte bassa. Sembrerebbe quindi che l'ossigeno sia maggiore nella stagione autunnale, dove non può avvenire un rimescolamento completo delle acque, mentre nella stagione primaverile, l'ossigeno viene ridistribuito lungo tutta la colonna, e risulta quindi avere una concentrazione minore negli strati superficiali, rispetto al periodo di stratificazione. Discorso analogo può essere fatto per TP e alcalinità.

Lo stesso tipo di analisi (CCA) è stato applicato considerando i dati biologici (sempre con abbondanze > 1%) e solamente le variabili legate all'LHS. Anche in questo caso è stato eseguito il test di Monte Carlo (499 permutazioni,  $p < 0,05$ ), che non ha evidenziato variabili significative.

Entrambe le analisi presentavano un'inerzia < 3, quindi si è proceduto con l'applicazione della RDA, utilizzando solamente i dati biotici e le variabili dell'LHS e scartando i parametri chimici. Anche in questo caso il test di Monte Carlo (499 permutazioni,  $p < 0,05$ ) ha portato ad escludere tutte le variabili idromorfologiche dell'LHS, in quanto non significative.

Riassumendo, tutte e tre le analisi eseguite mostrano che le pressioni antropiche lungo la costa non influenzano la componente biotica, in quanto non c'è correlazione significativa con la struttura di comunità a macroinvertebrati. Tale risultato potrebbe essere influenzato dal basso di numero di stazioni considerate lungo la riva. Nonostante ciò, esiste una relazione fra descrittori dei diversi *habitat*, stazioni di campionamento, caratteristiche chimiche e comunità biologica. Si rimanda quindi ad un'analisi più esaustiva quando saranno presenti i dati di entrambe le campagne di campionamento per tutti e 6 i laghi.

È stato infine analizzato l'indice BQIES per ogni punto di campionamento, considerando anche i punti presenti nella zona sublitorale e nella zona profonda (Tab. 3.1.1).

Tab. 3.1.1- Valore di BQIES per tutti i punti di campionamento. Vi: L. di Viverone; T: Transetto; C: campionamento espletato in periodo di Circolazione; S: campionamento espletato in periodo di Stratificazione.

	Litorale	Sublitorale	Profondo
ViT1C	2,47	0,38	0,17

ViT2C	5,97	0,21	0,00
ViT3C	6,06	<b>10,15</b>	0,17
ViT1S	3,86	0,17	0,17
ViT2S	2,18	0,32	0,00
ViT3S	6,76	0,17	<b>1,19</b>

Si nota che i valori più alti corrispondono alla zona litorale, seguita dalla sublitorale e infine dalla massima profondità. Analizzando le stazioni singolarmente, si vede che in quella litorale i valori più elevati si trovano nei transetti 3, sia nel periodo di circolazione che di stratificazione, e nel transetto due alla circolazione. La zona sublitorale presenta valori che si discostano molto da quelli della fascia litorale: in generale si osserva una significativa diminuzione di tale valore, mentre nel transetto 3 alla circolazione il valore è decisamente più elevato. Infine, la zona profonda mostra valori elevati sempre nel transetto 3 alla stratificazione, mentre tutti gli altri valori subiscono ancora un decremento.

Nei tre transetti sono poi state evidenziate le variabili idromorfologiche presenti o assenti in maniera esclusiva, per valutare se queste possono o meno influenzare i valori dell'Indice di Qualità.

<b>T1</b>
specie aliene
copertura artificiale
vegetazione < 0,5 m e alberi grandi
lieve pendenza della sponda
campeggi
parchi e giardini
erbe e prati
frutteti
Substrato con ghiaia / sabbia mista

<b>T2</b>
vegetazione altezza mista
Pendenza verticale della sponda
zona umida con canneto
erba
substrato con limo

<b>T3</b>
sponda in terra e risezionata
inclinazione della sponda
Substrato con ciottoli / sabbia
area urbana
vegetazione galleggiante
tributario

È stata eseguita una CCA inserendo insieme alle variabili idro-morfologiche anche i valori dell'indice (fig.3.1.2).

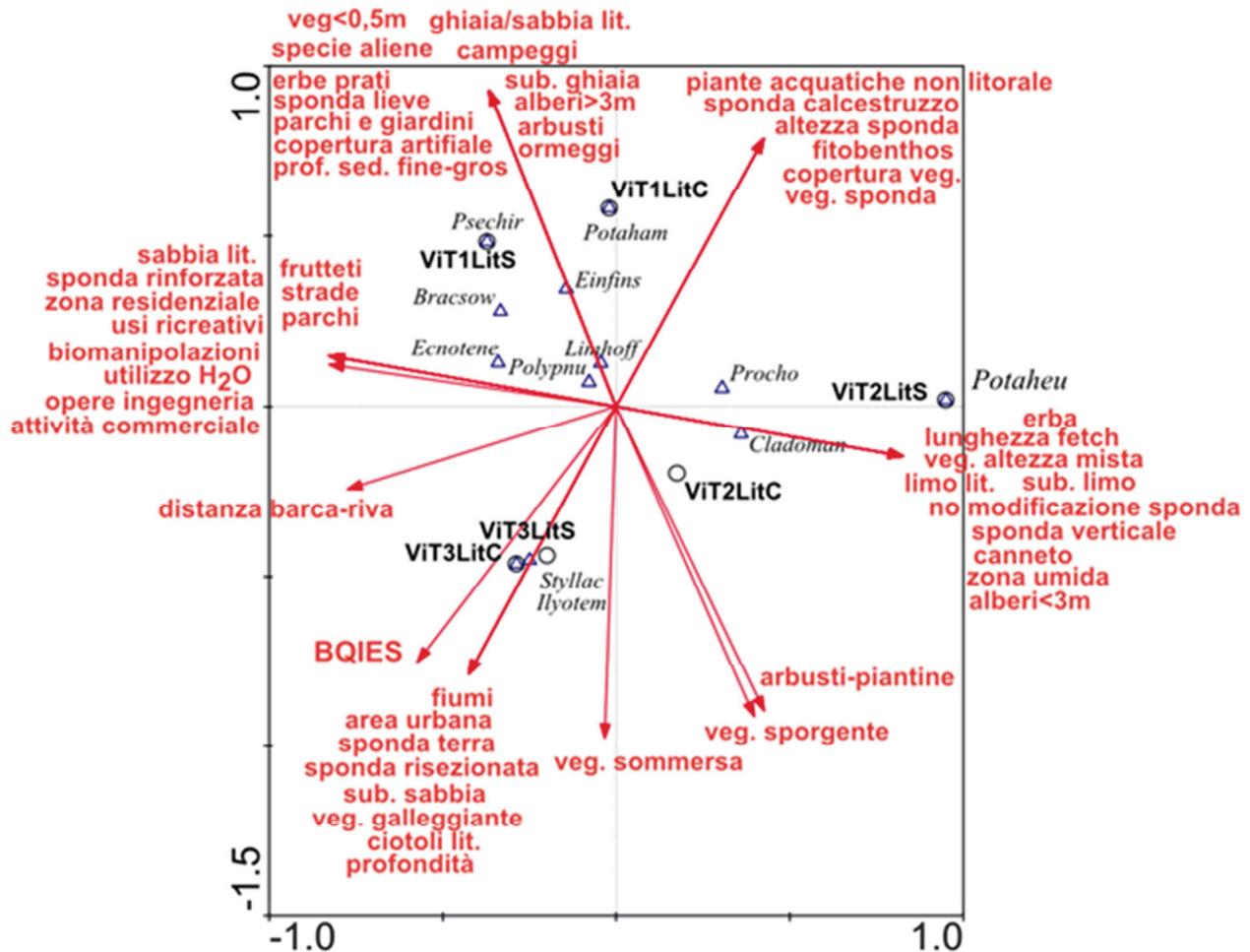


Fig. 3.1.2 - Ordinamento delle stazioni di campionamento lungo i primi due assi della CCA. Per ulteriori spiegazioni vedere il testo.

Il test di Monte Carlo (499 permutazioni,  $p < 0,05$ ) ha portato ad escludere tutte le variabili perché non significative. La varianza totale spiegata è pari al 50%. L'asse 1 spiega il 29% della varianza, come nei casi precedentemente visti, mentre l'asse 2 spiega il 21%. Si nota una distribuzione delle stazioni che si accorda con quanto detto prima. Le due stazioni del transetto 3 infatti, sono correlate con valori maggiori dell'indice, mentre le stazioni del transetto 1 presentano una correlazione negativa con questa variabile.

È stato infine calcolato il valore medio dell'indice per i tre transetti, considerando per ogni transetto le tre diverse profondità e le due stagioni di campionamento (Tab. 3.1.2).

Tab. 3.1.2- Valore medio di BQIES per i tre transetti.

T1	T2	T3
1,20	1,45	4,08

Il transetto T3, come ci si aspettava presenta il valore maggiore. I parametri LHS mostrano la presenza di variabili idromorfologiche legate ad un ambiente antropizzato ed un discreto livello di naturalità (sponda in terra, vegetazione, ecc...), ma il valore elevato è probabilmente legato alla presenza dell'affluente, che apporta fauna al lago, ma anche migliori condizioni di ossigenazione.

Il transetto 1 invece, presenta il valore minore. Se si considerano le caratteristiche di questo *habitat* a livello della costa, si nota che tale transetto presenta una correlazione positiva con le variabili legate alle modificazioni di tipo antropico (copertura artificiale, sponda in calcestruzzo, presenza di campeggi, substrato di ghiaia e sabbia, probabilmente di riporto). Si presume quindi che il basso valore dell'indice sia dato dalla forte pressione antropica presente in questa zona che inficia l'instaurarsi di una comunità biologicamente diversificata.

Il punto T2 mostra infine un valore di poco superiore al transetto 1, nonostante la presenza di una zona molto naturale sulle rive.

Dai risultati ottenuti attraverso l'analisi statistica si nota che non c'è una correlazione significativa con nessun parametro idromorfologico. Ma la fauna e le stazioni si distinguono bene in tre gruppi principali, che seguono comunque le modificazioni apportate alla zona litorale.

Si nota che le stazioni si suddividono anche seguendo la stagionalità. Questa suddivisione sembra comunque influenzata più dalle variabili di tipo chimico, che dai parametri LHS.

Si riscontra una zona naturale con la presenza di aree a torbiera, caratterizzata dalle specie *Potamotrix heuscheri*, *Dugesia tigrina*, *Cladotanytarsus* gr. *mancus* e *Procladius choreus* e due zone che presentano impatti antropici che si distinguono per la presenza (ViT3) o assenza (VivT1) di un tributario, caratterizzate da: *Stylaria lacustris*, *Ilyodrilus templetoni*, *Dero* sp., *Nais* sp., *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Branchiura sowerbyi*, *Potamotrix hammoniensis*, *Tubifex tubifex*, *Chironomus plumosus*, *Pseudochironomus* sp., *Cladopelma viridulum*, *Dicrotendipes* gr. *tritonus*, *Einfeldia* gr. *insolita*, *Polypedilum* gr. *nubeculosum*, e *Ecnomus tenellus*.

Inserendo i valori dell'Indice di Qualità bentonico (BQIES) la distinzione tra le due zone antropizzate risulta essere più evidente, con il punto ViT3 con correlazione positiva, e ViT1 con correlazione negativa rispetto a questa variabile.

Si nota quindi che è presente un certo grado di correlazione tra i valori dell'indice BQIES e le variabili idromorfologiche, anche se non si osservano risultati significativi dal punto di vista statistico. Presumibilmente il valore elevato dell'indice nel punto ViT3 è da attribuire alla presenza del tributario, in quanto questo può portare ad un'immissione di nuova fauna, ossigeno e nutrienti.

Per la valutazione complessiva dello stato di qualità di un corpo lacustre, sembra quindi di poter affermare che sarebbe meglio ampliare il campionamento alla fascia litorale, evitando però la presenza di corsi d'acqua, che con il loro contributo possono occultare il

valore reale dell'indice in quel determinato ambiente. La fascia litorale risulta oltre a ciò povera di particellato per l'azione erosiva delle acque in ingresso.

Riassumendo, tutte le analisi eseguite mostrano che le pressioni antropiche lungo la costa non influenzano significativamente la componente biotica a macroinvertebrati, probabilmente per lo scarso numero di stazioni considerate lungo la riva. Nonostante ciò, esiste una relazione fra descrittori dei diversi *habitat*, stazioni di campionamento, caratteristiche chimiche e comunità biologica. Si rimanda quindi ad un'analisi più esaustiva con i dati di entrambe le campagne di campionamento per tutti e 6 i laghi.

## 3.2. Pesci

### 3.2.1. Metodologie di campionamento e parametri analizzati

I campionamenti sono stati condotti su un totale di 8 laghi, equamente distribuiti in Piemonte e Sardegna (Tab. 3.2.1). Ogni lago è stato identificato con un codice di tre lettere ed utilizzato poi durante l'elaborazione dei dati.

Tab. 3.2.1 - Laghi analizzati, codice identificativo, data di campionamento e relative caratteristiche principali.

Lago	Codice	Regione	Tipologia	Superficie (km <sup>2</sup> )	Altitudine (m.s.l.m.)	Profondità media (m)
Candia	CND	Piemonte	Naturale	1,4	266	4.7
Mergozzo	MRG	Piemonte	Naturale	1,8	195	45.4
Morasco	MOR	Piemonte	Invaso	0,5	1815	31.0
Serrù	SER	Piemonte	Invaso	0,5	2240	25.0
Posada	POS	Sardegna	Invaso	3,8	47	10.4
Liscia	LIS	Sardegna	Invaso	5,6	178	19.0
Bidighinzu	BDG	Sardegna	Invaso	1,5	330	8.4
Sos Canales	SCA	Sardegna	Invaso	0,3	707	10.4

Le relazioni indagate in quest'analisi sono state:

- 1) Numero di specie catturate con reti multi-maglia e caratteristiche idromorfologiche.
- 2) Numero di specie catturate mediante elettropesca e caratteristiche idromorfologiche.
- 3) Abbondanza d'individui, peso totale, medio e lunghezza media del catturato con reti e caratteristiche idromorfologiche.
- 4) Abbondanza d'individui, peso totale, medio e lunghezza media del catturato mediante elettropesca e caratteristiche idromorfologiche.

Le matrici per le analisi sono state costruite scegliendo i punti di elettropesca o relativi alle reti, il più vicino possibile ai punti (*habplots*) nei quali sono state valutate le caratteristiche

idromorfologiche della zona riparia, della sponda e della zona litorale attraverso l'indice morfologico *Lake Habitat Survey* (LHS).

I campionamenti effettuati sono stati condotti in accordo con quanto previsto dal protocollo CEN EN14757 per le reti multimaglia, e CEN EN14011 per l'elettropesca, declinati entrambi in Italia nel "Protocollo di campionamento della fauna ittica nei laghi italiani" (APAT 2007, Report CNR-ISE 03-11). Per quanto riguarda il metodo del *Lake Habitat Survey* si rimanda rispettivamente a Rowan et al., 2006 e al precedente *Deliverable* INHABIT I1d1.

Per gli invasi Serrù, Morasco e Sos Canales non è stato possibile eseguire il campionamento mediante elettropesca. Le specie rinvenute e i parametri relativi al LHS sono espressi con dei codici identificativi (Tab.3.2.2, Tab.3.2.3).

Tab. 3.2.2 - Elenco delle specie campionate e relativi codici utilizzati nelle matrici.

<b>Nome scientifico</b>	<b>Nome comune</b>	<b>Codice</b>
<i>Gymnocephalus cernua</i>	Acerina	<b>Ace</b>
<i>Alosa agone</i>	Agone	<b>Ago</b>
<i>Alburnus alburnus</i>	Alborella	<b>Albo</b>
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguilla	<b>Ang</b>
<i>Lota lota</i>	Bottatrice	<b>Bott</b>
<i>Salaria fluviatilis</i>	Cagnetta	<b>Cagnt</b>
<i>Carassius carassius</i>	Carassio	<b>Carass</b>
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	<b>Carp</b>
<i>Squalius cephalus</i>	Cavedano	<b>Cave</b>
<i>Cobitis taenia</i>	Cobite	<b>Cob</b>
<i>Coregonus lavaretus</i>	Coregone lavarello	<b>Core</b>
<i>Padogobius bonelli</i>	Ghiozzo padano	<b>Ghiop</b>
<i>Gobio gobio</i>	Gobione	<b>Gob</b>
<i>Atherina boyeri</i>	Latterino	<b>Latt</b>
<i>Esox lucius</i>	Luccio	<b>Lucc</b>
<i>Sander lucioperca</i>	Lucioperca	<b>Luciop</b>
<i>Perca fluviatilis</i>	Pesce persico	<b>Pers</b>
<i>Ameiurus melas</i>	Pesce gatto	<b>Pgat</b>
<i>Lepomis gibbosus</i>	Persico sole	<b>Psol</b>
<i>Micropterus salmoides</i>	Persico trota	<b>Ptrot</b>
<i>Rhodeus amarus</i>	Rodeo amaro	<b>Rode</b>
<i>Rutilus rutilus</i>	Rutilo	<b>Rut</b>
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Salmerino di fonte	<b>Salfnt</b>

<i>Salvelinus alpinus</i>	Salmerino alpino	<b>Salpn</b>
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Sanguinerola	<b>Sang</b>
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Scardola	<b>Scar</b>
<i>Cottus gobio</i>	Scazzone	<b>Scazz</b>
<i>Tinca tinca</i>	Tinca	<b>Tinc</b>
<i>Rutilus aula</i>	Triotto	<b>Trio</b>
<i>Salmo trutta (trutta)</i>	Trota fario	<b>Trotaf</b>
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Trota iridea	<b>Trotir</b>

Tab. 3.2.3 - Variabili ambientali LHS e relativo codice.

<b>Caratteristica</b>	<b>Codice</b>
Terreni irrigui	<b>LCIL</b>
Brughiera incolta	<b>LC MH</b>
Arbusti e cespugli	<b>LC SH</b>
Bosco di latifoglie	<b>LC BL</b>
Presenza terreni coltivati	<b>Pres Till</b>
Alberi con tronco >30 cm di diametro	<b>big tree</b>
Alberi con tronco < 30 cm di diametro	<b>smaltree</b>
Alberi e cespugli fino a 50 cm	<b>shrusseed</b>
Presenza sponda	<b>Bankface</b>
Compattazione della sponda	<b>Shorecmp</b>
Altezza della sponda	<b>BFheight</b>
Erosione del <i>bank-top</i>	<b>Bkeros</b>
Presenza scarichi a lago	<b>PresPipe</b>
Presenza substrato roccioso	<b>SubsBE</b>
Presenza substrato ghiaioso/sabbioso	<b>SubsGS</b>
Presenza substrato con massi	<b>SubsBO</b>
Argilla in zona litorale	<b>LittClay</b>
Detriti legnosi in zona litorale	<b>Littdebr</b>
Ciottoli in zona litorale	<b>LittCobb</b>
Copertura tot. macrofite lungo colonna d'acqua	<b>Tot PVI</b>
Macrofite a radice galleggiante	<b>Floaroot</b>
Macrofite emergenti a foglia larga	<b>EmerBroa</b>
Canneti cariceti	<b>EmerReed</b>
Presenza muschi-licheni	<b>MossLich</b>

### 3.2.2. *Analisi statistiche*

Le analisi statistiche sono state condotte attraverso il software CANOCO 4.5 (ter Braak & Smilauer, 2002). In principio è stata eseguita una *Canonical Correspondence Analysis* (CCA) tra le abbondanze in specie relative al catturato delle reti e dell'elettropesca e le variabili ambientali corrispondenti ai punteggi dei punti di campionamento (*habplots*) previsti dal *Lake Habitat Survey* senza nessuna conversione/trasformazione dei dati. Questo ha permesso di valutare il valore del fattore d'inerzia (misura della varianza totale) (ter Braak et al., 1998). Se tale valore si presenta inferiore a 3.0, allora è necessario preferire una *Redudancy Analysis* (RDA) come metodo d'indagine. Tale valore d'inerzia si è presentato abbondantemente superiore a 4.0 sia nella relazione tra specie catturate tramite reti (5.0) e punteggi metriche *habplot*, sia tra quelle catturate tramite elettropesca (4.3) e punteggi metriche *habplot*. Si è dunque optato di testare le relazioni sopra descritte attraverso due CCA.

Per ogni singola relazione è stato preventivamente eseguito un test di Montecarlo a 499 permutazioni al fine di escludere le variabili con una  $p > 0,05$  e includere nell'analisi solo le variabili significative. Per quanto riguarda i parametri concernenti l'abbondanza, il peso e la lunghezza delle specie ittiche sono state eseguite due CCA, dove sono stati analizzati il numero di individui per rete/punto e.p. (**Npue**), il peso totale per rete/punto e.p. (**Bpue**), la lunghezza media (**Lmed**) e il peso medio (**Pmed**) per rete/punto e.p. in relazione alle variabili idromorfologiche considerate. Anche per queste due analisi si è optato per un test di Montecarlo preliminare che ha permesso di esprimere solo le variabili significative ( $p < 0,05$ ). In Fig. 3.2.3 sono riportati i parametri relativi al catturato delle reti mentre in Fig. 3.2.4 quelli relativi al campionamento con elettropesca.

### 3.2.3. *Risultati*

In tutto sono state analizzate 29 reti e 32 punti di elettropesca, con una media di  $3,6 \pm 2,6$  reti,  $6,4 \pm 2,8$  punti di elettropesca per lago. Il lago avente il maggior numero totale di punti analizzati (10) è il Mergozzo mentre quello con meno punti (3) è risultato essere il Bidighinzu. I dati vengono riassunti di seguito nelle due tabelle (Tab.3.2.4 e Tab. 3.2.5) indicanti i punti relativi all'*habplot* analizzato e alla relativa rete o punto di elettropesca corrispondente. La scelta sia di reti sia di punti di elettropesca si è limitata a quei punti collocati nelle immediate vicinanze dell'*habplot* con una massima distanza di 2 metri per il punto di elettropesca e 5 per la rete.

Tab. 3.2.4 - Codice lago, *habplots* e reti corrispondenti.

<b>Cod. Lago</b>	<b>Cod. Hab-Plot</b>	<b>Rete</b>	<b>Cod. rete</b>	<b>Easting</b>	<b>Northing</b>
<b>BDG</b>	E	RMF 11	1	1472359	4488462
<b>CND</b>	H	RMF 4	2	414854	5019202
<b>LIS</b>	E	RMF 22	3	1522771	4540024
<b>LIS</b>	F	RMF 16	4	1521378	4538902
<b>LIS</b>	H	RMF 12	5	1518364	4537775

MOR	A	RMF 17	6	453652	5141625
MOR	D	RMF 1	7	453800	5140918
MOR	E	RMF 6	8	453419	5140898
MOR	G	RMF 19	9	453182	5141586
MRG	B	RMF 9	10	457771	5089820
MRG	D	RMF17	11	458843	5089874
MRG	E	RMF 9	12	459286	5089252
MRG	F	RMF 11	13	459401	5088766
MRG	F1	RMF 8	14	459401	5088766
MRG	J	RMF 12	15	457738	5089346
MRG	J1	RMF 7	16	457738	5089346
POS	E	RMF 22	17	1550085	4498375
POS	F	RMF 12	18	1549872	4498076
SCA	A	RMF 24	19	1526418	4489487
SCA	B	RMF 25	20	1526606	4489708
SCA	C	RMF13	21	1526755	4489580
SER	A	RMF 16	22	353526	5036070
SER	B	RMF 15	23	353224	5035970
SER	B1	RMF 7	24	353224	5035970
SER	C	RMF 17	25	352986	5035816
SER	E	RMF 10	26	353476	5035476
SER	F	RMF 5	27	353770	5035593
SER	G	RMF 13	28	354043	5035749
SER	J	RMF 21	29	353839	5036151

Tab. 3.2.5 - Codice lago, *habplots* e relativi punti di elettropesca corrispondenti.

Cod. lago	Cod.Hab-Plot	Punto elettropesca	Cod. elettropesca	Easting	Northing
BDG	A	EP 80	1	1471492	4489488
BDG	A1	EP 81	2	1471492	4489488
BDG	D	EP 57	3	1471937	4488816
BDG	E	EP 60	4	1472359	4488462
CND	A	EP 1	5	413705	5019392
CND	B	EP 7	6	414048	5019732
CND	C	EP 54	7	414521	5019901
CND	D	EP 47	8	414933	5020209

<b>CND</b>	F	EP 26	9	415424	5019880
<b>CND</b>	F1	EP 27	10	415424	5019880
<b>CND</b>	G	EP 21	11	415217	5019383
<b>CND</b>	H	EP 34	12	414854	5019202
<b>CND</b>	I	EP 31	13	414404	5019049
<b>LIS</b>	C	EP 7	14	1524169	4539541
<b>LIS</b>	D	EP 14	15	1524103	4540216
<b>LIS</b>	H	EP 31	16	1518364	4537775
<b>LIS</b>	I	EP 33	17	1519017	4537650
<b>MRG</b>	A	EP 85	18	457314	5089689
<b>MRG</b>	A1	EP 86	19	457314	5089689
<b>MRG</b>	C	EP 54	20	458329	5089932
<b>MRG</b>	C1	EP 55	21	458329	5089932
<b>MRG</b>	C2	EP 56	22	458329	5089932
<b>MRG</b>	E	EP 16	23	459286	5089252
<b>MRG</b>	H	EP36	24	458492	5088508
<b>MRG</b>	H1	EP36	25	458492	5088508
<b>MRG</b>	I	EP25	26	458161	5088973
<b>MRG</b>	J	EP45	27	457738	5089346
<b>POS</b>	A	EP 125	28	1551340	4498625
<b>POS</b>	C	EP 136	29	1551041	4499249
<b>POS</b>	D	EP 158	30	1550642	4498510
<b>POS</b>	F	EP 170	31	1549872	4498076
<b>POS</b>	J	EP 145	32	1551451	4497808

### 3.2.4. Relazioni tra specie catturate con reti e caratteristiche idromorfologiche

La percentuale di varianza spiegata dai primi due assi di ordinamento della CCA equivale al 44,8%, valore che sale al 66,9% se si considera anche il terzo asse. Le variabili significative incluse nel modello, identificate con il test di permutazione di Monte Carlo, sono le seguenti: (**LittClay**;  $p=0,002$ ) (**Littdebr**;  $p=0,002$ ), (**Bkeros**;  $p=0,006$ ), (**MossLich**;  $p=0,002$ ), (**SubsBE**;  $p=0,01$ ), (**SubsGS**;  $p=0,01$ ) (**shrusseed**;  $p=0,002$ ), (**LC MH**;  $p=0,01$ ), (**big tree**;  $p=0,03$ ), (**Pres Till**;  $p=0,02$ ), (**Shorecmp**;  $p=0,01$ ). In Fig.3.2.1 è riportato il diagramma che mostra la posizione delle specie lungo i due assi di ordinamento della CCA. Il primo asse di ordinamento è individuato, nella sua parte positiva dalla variabile corrispondente alla presenza di muschi e licheni (**MossLich**), mentre nella parte negativa non ci sono variabili con una correlazione così evidente. Anche il secondo asse ha nella sua parte positiva una correlazione con le variabili rappresentative della presenza di arbusti e cespugli fino a 50 cm (**shrusseed**) e della presenza di argilla nella zona litorale

(**LittClay**), mentre come per il primo asse non vi sono variabili che ne individuano in modo evidente la parte negativa. Queste correlazioni dimostrano come i primi 3 assi siano dominati dai dati relativi ai 3 laghi d'alta quota i quali hanno un popolamento monospecifico (Serrù e Sos Canales) o di massimo due specie (Morasco). Eliminandoli quindi dalla matrice di dati nelle analisi, il test di Montecarlo non rileva nessuna variabile significativa, dimostrando quindi l'assenza di relazioni dirette tra *habitat* e campionamento e tra *habitat* e distribuzione specie.

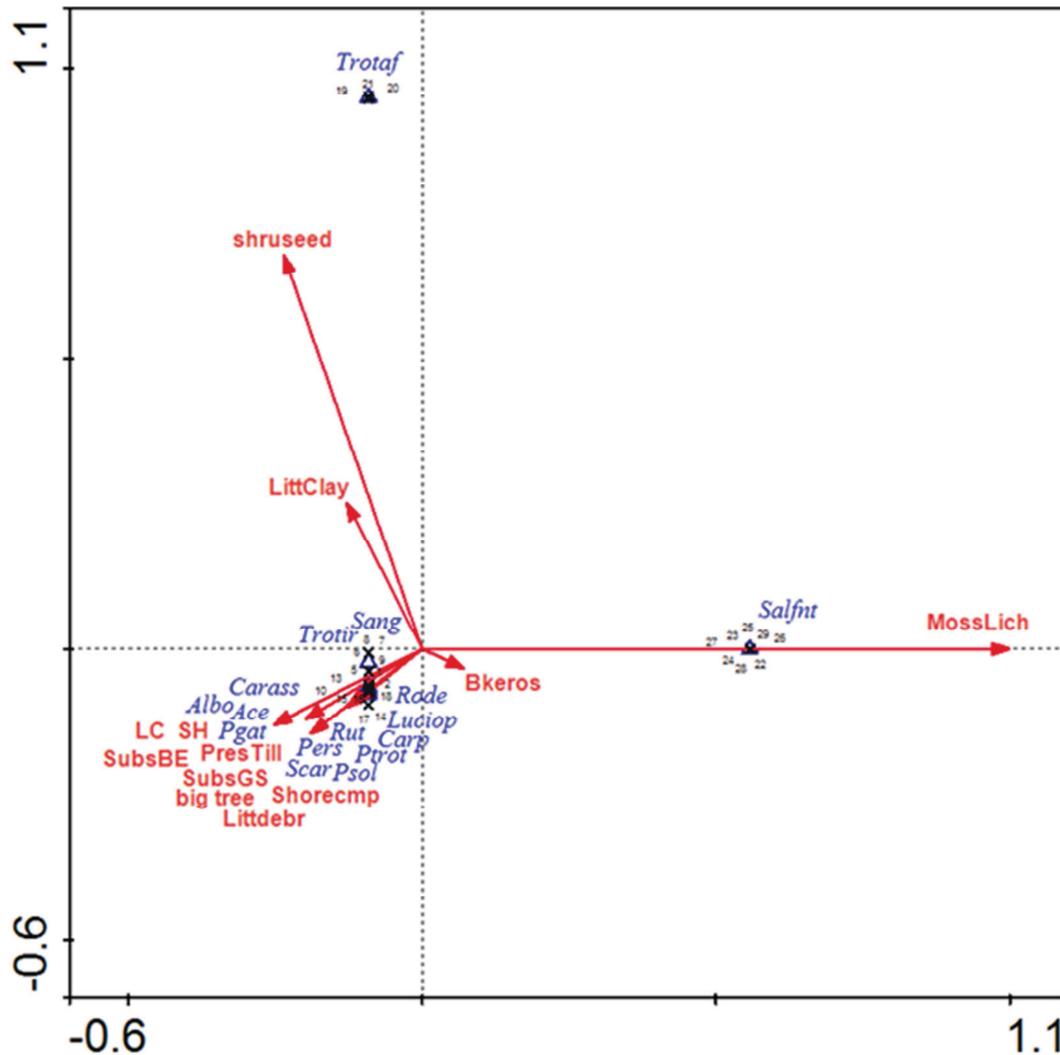


Fig. 3.2.1 - Ordinamento delle specie catturate mediante reti multi-maglia i lungo i primi due assi della CCA. I numeri corrispondono ai punti di campionamento riportati precedentemente (Tab. 3.2.4).

### 3.2.5. Relazioni tra specie catturate con elettropesca e caratteristiche idromorfologiche

La percentuale di varianza spiegata dai primi due assi di ordinamento della CCA equivale al 57,3%, valore che sale al 78,0% se si considera anche il terzo asse. Le variabili significative incluse nel modello, identificate con il test di permutazione di Monte Carlo, sono le seguenti: (**smaltree**;  $p=0,01$ ) (**LittCobb**;  $p=0,01$ ) (**Bankface**;  $p=0,001$ ), (**EmerBroa**;  $p=0,002$ ), (**PresPipe**;  $p=0,004$ ), (**LCIL**;  $p=0,004$ ).

In Fig. 3.2.2 è riportato il diagramma che mostra la posizione delle specie lungo i due assi di ordinamento della CCA. Il primo asse di ordinamento è individuato, nella sua parte positiva dalle variabili corrispondenti alla presenza di scarichi a lago e di terreni irrigui, caratteristica discriminante in questo caso per il lago Posada e per due specie di piccole dimensioni tipiche della zona litorale, quali la cagnetta (**Cagn**) e il cobite (**Cob**). La parte negativa dell'asse è individuata, anche se meno nettamente, dalla variabile corrispondente alla presenza di macrofite a foglia larga (**EmerBroa**), variabile che però non sembra discriminare nessun lago o nessuna specie rispetto alle altre. Il secondo asse è individuato nella parte positiva dagli alberi di piccole dimensioni (**smaltree**) e dalla presenza di ciottoli nella zona litorale (**LittCobb**) mentre nella parte negativa vi è una correlazione meno forte con la presenza della spiaggia.

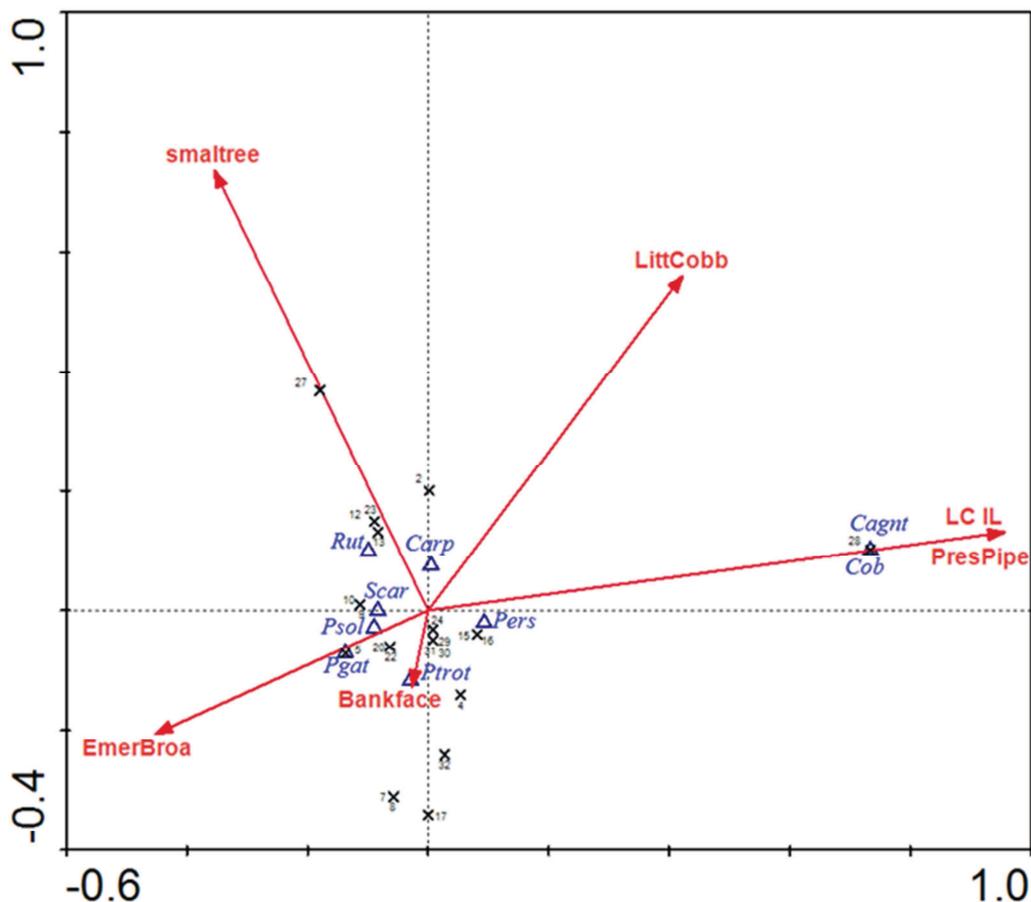


Fig. 3.2.2- Ordinamento delle specie catturate mediante elettropesca i lungo i primi due assi della CCA. I numeri corrispondono ai punti di campionamento riportati precedentemente (Tab. 3.2.4).

### 3.2.6. Relazioni tra parametri relativi al catturato con reti e caratteristiche idromorfologiche

La percentuale di varianza spiegata dai primi due assi di ordinamento della CCA (Fig. 3.2.3) equivale al 95%, valore che sale al 100% se si considera anche il terzo asse. Il primo asse viene individuato nella parte positiva dalla presenza di substrato roccioso (**SubsBe**) e secondariamente dall'erosione (**Bkeros**) e dall'altezza (**BFheight**) della sponda, variabili correlate, seppur non così nettamente, con l'abbondanza di pesci (**Npue**). Il secondo asse nella parte positiva è individuato dalla presenza di Bosco a latifoglie (**LC**



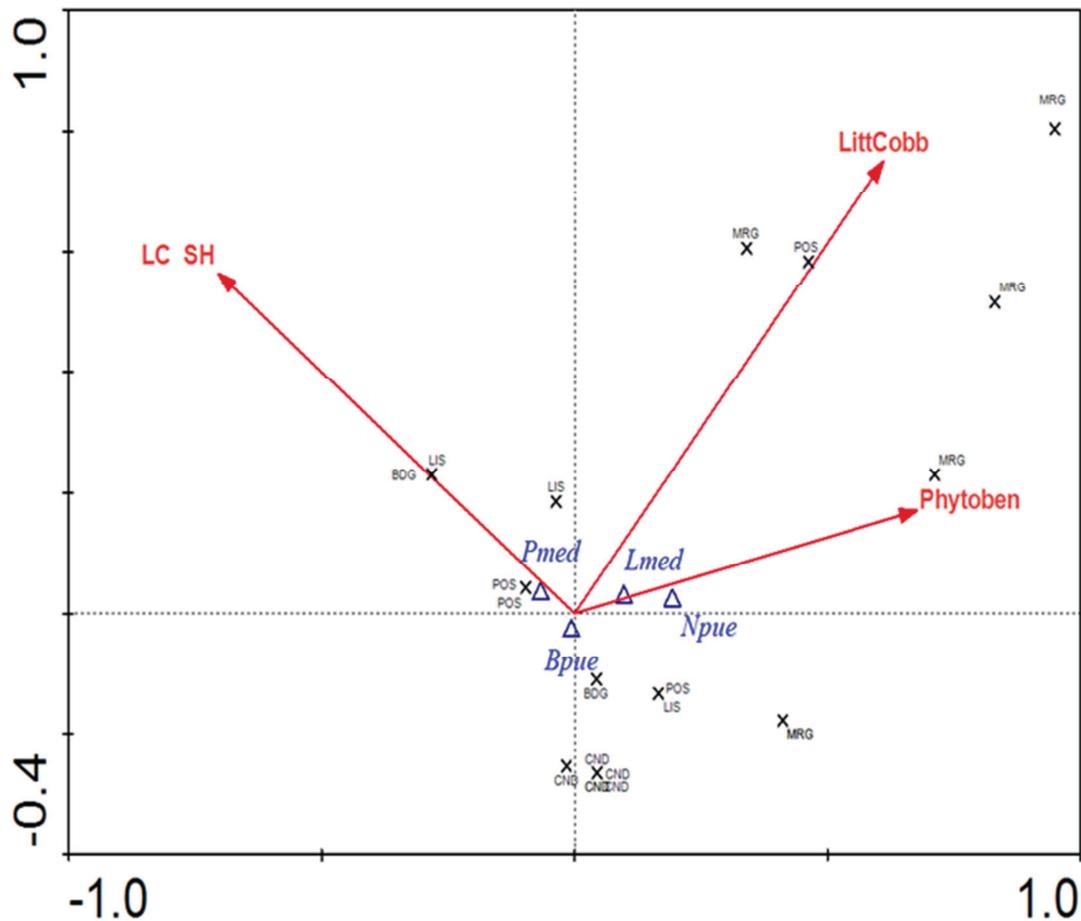


Fig. 3.2.4 - Ordinamento del catturato mediante elettropesca lungo i primi due assi della CCA.

### 3.2.8. Discussione e conclusioni

Dal *pool* di dati analizzati in questo *deliverable* emerge come, il parametro **Npue** sia quello maggiormente condizionato dall'idromorfologia. L'abbondanza d'individui è, infatti, spiegabile con quelle caratteristiche morfologiche relative alla zona prettamente litorale. La presenza di un maggior numero di rifugi, un substrato più adatto alla riproduzione o al foraggiamento possono condizionare la distribuzione e soprattutto l'abbondanza della fauna ittica (Eklov, 1997), così come un'elevata concentrazione di *fitobentos* può essere sinonimo di una elevata produttività (Friederichs, 2011) del punto esaminato e di conseguenza del numero di individui ivi collocati (a maggiore produttività del punto esaminato può corrispondere la capacità di ospitare un maggior numero di individui rispetto ad altri punti con minor produttività). Meno evidenti, invece, appaiono le relazioni tra abbondanza in specie e variabili idromorfologiche. Ciò potrebbe essere dovuto sia alla presenza di alcuni laghi con una composizione monospecifica nella matrice di dati che sia al fatto che i pesci sono animali altamente vagili, in grado di occupare diverse zone (litorale, pelagica, profonda) in un arco temporale molto breve in relazione ad abitudini trofiche, riproduttive, climatiche e relative alla complessità dell'*habitat* (Emmrich, 2011), e che dunque è spesso complicato valutarne la presenza in modo assoluto. Al momento dunque, ai fini di una classificazione che tenga conto dei parametri idromorfologici, l'abbondanza d'individui (**Npue**) sembra essere il parametro più affidabile. Il numero di

pesci presente è quindi più rappresentativo delle condizioni idromorfologiche rispetto alle specie, le quali possono essere state immesse, non essere campionate per motivi comportamentali, oppure essere assenti per altri fattori, climatici, chimico-fisici e antropici.

Alla luce di quanto emerso da questo documento e dal precedente (*Deliverable* Id2D7) la fauna ittica dimostra nel complesso, di avere correlazioni più importanti (**Npue** in particolare) con le variabili chimico-fisiche, rispetto a quelle idromorfologiche. Questo assunto non esclude la possibilità che le relazioni con le variabili idromorfologiche siano significative o indirettamente correlate a quelle chimico-fisiche. Con il campionamento del resto dei laghi considerati dal progetto (Viverone, Sirio e Avigliana piccolo), sarà possibile incrementare il *dataset*. In questo modo si potrà ampliare il numero di punti esaminati ed e ottenere probabilmente una maggiore significatività delle relazioni analizzate.

### 3.3. Macrofite

#### 3.3.1. *Scopo del lavoro*

Come abbiamo già indicato in un precedente *deliverable* (I1d5), il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare ha emanato due decreti che forniscono la base per il monitoraggio e la classificazione dei corpi idrici secondo la Direttiva 2000/60/CE che fornisce un quadro legislativo per la protezione delle acque europee (WFD).

Il Decreto Ministeriale 56/2009 fornisce i criteri per il monitoraggio degli elementi biologici nei corpi idrici e il Decreto 260/2010 quelli per la classificazione in classi di qualità.

Uno dei parametri biologici previsti tanto dalla WFD che dai decreti citati è rappresentato dalle macrofite, cioè dalle piante acquatiche sommerse, radicate a foglie galleggianti e liberamente galleggianti, comprendenti sia le fanerogame, che i muschi (es. *Fontinalis*), le felci (es. *Salvinia*) e le macroalghe sessili (es. *Chara*) formanti colonie ed aggregati macroscopicamente visibili. Sono quindi escluse le piante emergenti che formano la fascia a canneto.

A differenza di altri parametri biologici, come ad esempio i macroinvertebrati di acque correnti, in Italia manca una tradizione scientifica relativa alla valutazione della qualità delle acque a partire dai popolamenti di macrofite. I protocolli di monitoraggio e i metodi di classificazione sono perciò basati soprattutto sull'esperienza dei loro autori e sul confronto internazionale avviato a livello europeo nei cosiddetti esercizi di intercalibrazione, organizzati dalla Commissione Europea per uniformare i metodi di valutazione ecologica della qualità delle acque.

Nel precedente *deliverable* (I1d5) abbiamo svolto un test estensivo sul campo dei metodi proposti, per valutare se i metodi di monitoraggio e di classificazione fossero adatti a valutare la qualità ecologica di un corpo idrico, cioè se la variabilità tra ambienti, dovuta alla diversa pressione antropica, fosse effettivamente maggiore rispetto alla varianza all'interno del singolo lago. Inoltre abbiamo confermato che il numero di transekti richiesti dal protocollo, e di conseguenza lo sforzo di campionamento, è sufficiente alla stima della qualità ecologica del lago, e non è sovradimensionato.

In questo *deliverable*, invece, si vuole valutare se vi sia una relazione tra le metriche utilizzate per la stima della qualità biologica dei laghi e i parametri idromorfologici nei punti di rilievo, in modo da individuare possibili perturbazioni nella valutazione della qualità ecologica dovute alla scelta dei transetti di campionamento delle macrofite.

### 3.3.2. *Stato dell'arte*

#### 3.3.2.1. *Protocolli di campionamento*

Come già ricordato nel *deliverable* I2d7, il protocollo di campionamento sviluppato per l'Italia (Sollazzo et al. 2008) si basa sulle norme internazionali (EN 15460: *Water quality. Guidance standard for the surveying of aquatic macrophytes in lakes*, EN 14184: *Water quality. Guidance standard for the surveying of aquatic macrophytes in running waters* e EN 14996: *Water quality. Guidance on assuring the quality of biological and ecological assessments in the aquatic environment*) adattandole alle condizioni specifiche dei laghi italiani.

Il campionamento avviene in punti collocati lungo una serie di transetti all'interno di siti omogenei, individuati in un bacino lacustre. Un sito è quindi una porzione continua di riva, di ampiezza variabile, al cui interno è possibile individuare una comunità macrofita omogenea in termini di composizione specifica e che si estende fino ad una profondità costante. Siti con comunità macrofita identica, che sono distribuiti su tratti di litorale separati, devono essere considerati siti diversi.

Si deve notare che esiste una differenza sostanziale nella localizzazione dei transetti usati per il campionamento delle macrofite e gli *hab-plots* utilizzati per la valutazione delle condizioni idromorfologiche dei laghi secondo il *Lake Habitat Survey* (LHS): questi ultimi vengono infatti disposti regolarmente lungo la sponda, a distanze regolari, mentre i transetti campionati per le macrofite dipendono dal numero dei siti in quanto in ogni sito deve essere campionato uno e un solo transetto.

Infatti, all'interno di ogni sito, solitamente al centro, viene scelto un transetto, ovvero una linea perpendicolare alla costa, lungo la quale si effettuano le osservazioni o i campionamenti. L'operatore si muove in barca lungo il transetto, da riva verso il lago, fermandosi a profondità definite, via via crescenti secondo il passo di un metro, ancorando la barca all'interno dell'intervallo di profondità scelto. I punti di osservazione o di campionamento sono 4 in totale: uno verso prua ed uno verso poppa da ciascun lato della barca.

L'ispezione del transetto termina quando si rileva l'assenza di vegetazione su tutti i 4 punti in due intervalli di profondità consecutivi oppure quando è stata raggiunta la massima profondità del lago. L'ispezione può essere visiva, se le acque sono sufficientemente trasparenti, oppure richiedere l'uso di una telecamera subacquea, di un batiscopio o di un rastrello. Lungo il transetto, per ciascun intervallo di profondità, ad ogni specie raccolta va attribuito un valore di abbondanza in scala da 1 a 5.

#### 3.3.2.2. *Metodi di classificazione*

Come già ricordato nel *deliverable* I1d5, il metodo di classificazione della qualità dei laghi sulla base delle macrofite, descritto da Oggioni et al. (2011) e adottato dal Decreto Ministeriale 260/2010, è stato sviluppato nell'ambito dell'attività di intercalibrazione coordinata dalla Commissione Europea per l'armonizzazione a livello comunitario dei metodi di valutazione della qualità dei corpi idrici (CIS 2004).

Il processo d'intercalibrazione è stato condotto su base geografica, previa suddivisione del territorio comunitario in 5 grandi ambiti denominati *Geographical Intercalibration Groups* (GIGs), all'interno dei quali i principi e i metodi valutativi devono essere necessariamente comuni. Per i laghi, l'Italia è inclusa in due di questi ambiti: l'*Alpine* GIG e il *Mediterranean* GIG, ma in quest'ultimo l'intercalibrazione ha considerato soltanto invasi, nei quali la popolazione macrofittica non si sviluppa a sufficienza a causa delle variazioni di livello implicate dall'uso dell'acqua invasata.

Le procedure valutative sviluppate a livello comunitario per la definizione di metodi di valutazione della qualità dei corpi idrici sono tutte costruite sulla base di uno schema comune (*Lakes Intercalibration Expert* 2006) che utilizza informazioni relative alla composizione tassonomica e abbondanza delle singole specie presenti in un determinato corpo idrico per permetterne la classificazione di qualità. Nel complesso, i dati di composizione e abbondanza vengono combinati per ottenere una valutazione complessiva dello stato ecologico del lago in forma numerica, utilizzabile poi per definire i rapporti ecologici di qualità richiesti dalla Direttiva 2000/60.

Il rapporto ecologico, che si ottiene dividendo il valore trovato per il valore di riferimento, tipico di un lago in ottime condizioni ecologiche, è espresso da un valore numerico compreso tra 0 e 1: lo stato ecologico "elevato" è rappresentato da valori prossimi a 1, al contrario valori che poco si discostano dallo 0 sono rappresentativi dello stato ecologico "pessimo".

Gli indici macrofittici si basano sui dati raccolti in quattro decenni in 25 laghi di bassa quota dell'ecoregione alpina, in cui sono state censite complessivamente 61 specie di macrofite, e 13 campagne svolte tra il 2009 e il 2010 in 13 laghi, dove sono state censite 50 specie.

Gli indici quindi possono essere utilizzati solo nei corpi idrici di bassa quota della ecoregione alpina (*Alpine* GIG) appartenenti, quindi, alle seguenti 4 tipologie lacustri: laghi di profondità massima superiore a 125 m (L-AL3) e laghi poco profondi con profondità massima minore o uguale a 125 m (L-AL4, L-AL5 e L-AL6), anche polimitici.

Gli indici possono essere applicati alle seguenti condizioni:

- almeno il 75% del conteggio floristico deve essere composto da specie comprese nella tabella sinottica delle macrofite allegata a Oggioni et al. (2011);
- meno del 70% del conteggio floristico deve essere composto da specie esotiche, indicate come tali nella lista delle specie aliene *sensu* Celesti et al. (2009) e Cardoso & Free (2008). Se questo limite è superato, la valutazione prodotta dal calcolo degli indici va ridotta di 0,25.

L'indice utilizzabile in tutti i laghi di bassa quota dell'ecoregione alpina è un indice multimetrico, denominato, MacroIMMI, comprendente 5 metriche:

- 1) uno *score* trofico calcolato come abbondanza media ponderata dei *taxa* sulla concentrazione di fosforo totale alla circolazione;
- 2) la frequenza delle specie sommerse,
- 3) la frequenza delle specie esotiche *sensu* Celesti et al. (2009) e Pignatti (1982),
- 4) la massima profondità di crescita (per i laghi delle tipologie AL-3, AL-5 e AL-6),
- 5) la diversità.

Le singole metriche vengono poi normalizzate e i valori normalizzati mediati tra loro forniscono il valore di MacroIMMI. Per i dettagli sul calcolo dell'indice e per le tabelle degli *score* trofici, rimandiamo ad Oggioni et al. (2011).

Nel *deliverable* I1d5 abbiamo fatto notare che, nonostante la generale buona risposta del metodo di valutazione della qualità ecologica dei laghi a partire dalla comunità macrofita, sarebbe opportuna una ridefinizione delle formule di calcolo dell'indice sintetico per meglio cogliere le differenze di qualità ecologica tra i laghi

In questo *deliverable*, invece si valuterà, come già detto, la relazione tra le metriche utilizzate per la stima della qualità biologica dei laghi e i parametri idromorfologici nei punti di rilievo, in modo da individuare possibili perturbazioni nella valutazione della qualità ecologica dovute alla scelta dei transetti di campionamento delle macrofite.

### 3.3.3. *Dati raccolti*

Questa elaborazione si basa sui dati raccolti nell'ambito del progetto INHABIT sui laghi naturali piemontesi inclusi nel progetto stesso: Avigliana Piccolo, Candia, Mergozzo, Sirio e Viverone. Per quanto riguarda il lago Baratz, unico lago naturale della Sardegna, l'indice MacroIMMI non può essere utilizzato, in quanto la flora macrofita è dominata da una specie (*Potamogeton filiformis*) non presente nella lista dei pesi trofici riportata da Oggioni et al. (2011). Pertanto non è stato possibile comprendere i dati raccolti in questo lago nell'elaborazione oggetto di questo *deliverable*, come del precedente *deliverable* I1d5.

Come già riportato nel *deliverable* I1d5, nel Lago di Mergozzo, un lago naturale piemontese apparentemente in buone condizioni ecologiche, non sono state ritrovate macrofite nelle campagne effettuate nel 2011.

Per quanto riguarda invece gli altri cinque laghi naturali (Viverone, Sirio, Avigliana Piccolo, Candia e Baratz), è stato possibile svolgere una regolare campagna di monitoraggio secondo i criteri richiesti dal Decreto Ministeriale 56/2009 e dal protocollo di campionamento di macrofite acquatiche in ambiente lacustre (Sollazzo et al. 2008).

Il Lago di Viverone, il più grande tra i laghi naturali del progetto INHABIT, è stato campionato il 13 giugno 2010 e sono stati individuati 40 siti, con estensione compresa tra 14 e 2709 metri. I punti di campionamento sono visibili nella figura 3.3.1.

Per il Lago Sirio, invece, il campionamento ha avuto luogo tra il 2 e il 3 agosto 2011, e i siti individuati, di estensione compresa tra 9 e 830 metri, sono stati soltanto 12, a causa delle minori dimensioni e della maggiore omogeneità delle rive e della vegetazione macrofitica di questo lago.

Gli altri due laghi del Piemonte, Piccolo di Avigliana e Candia, sono stati campionati rispettivamente il 5 e il 26 luglio 2011 (Fig. 3.3.2). Nel primo sono stati individuati 18 siti, di estensione compresa tra 23 e 1300 metri, mentre nel secondo ne sono stati individuati 14, con estensione compresa tra 14 e 665 metri.

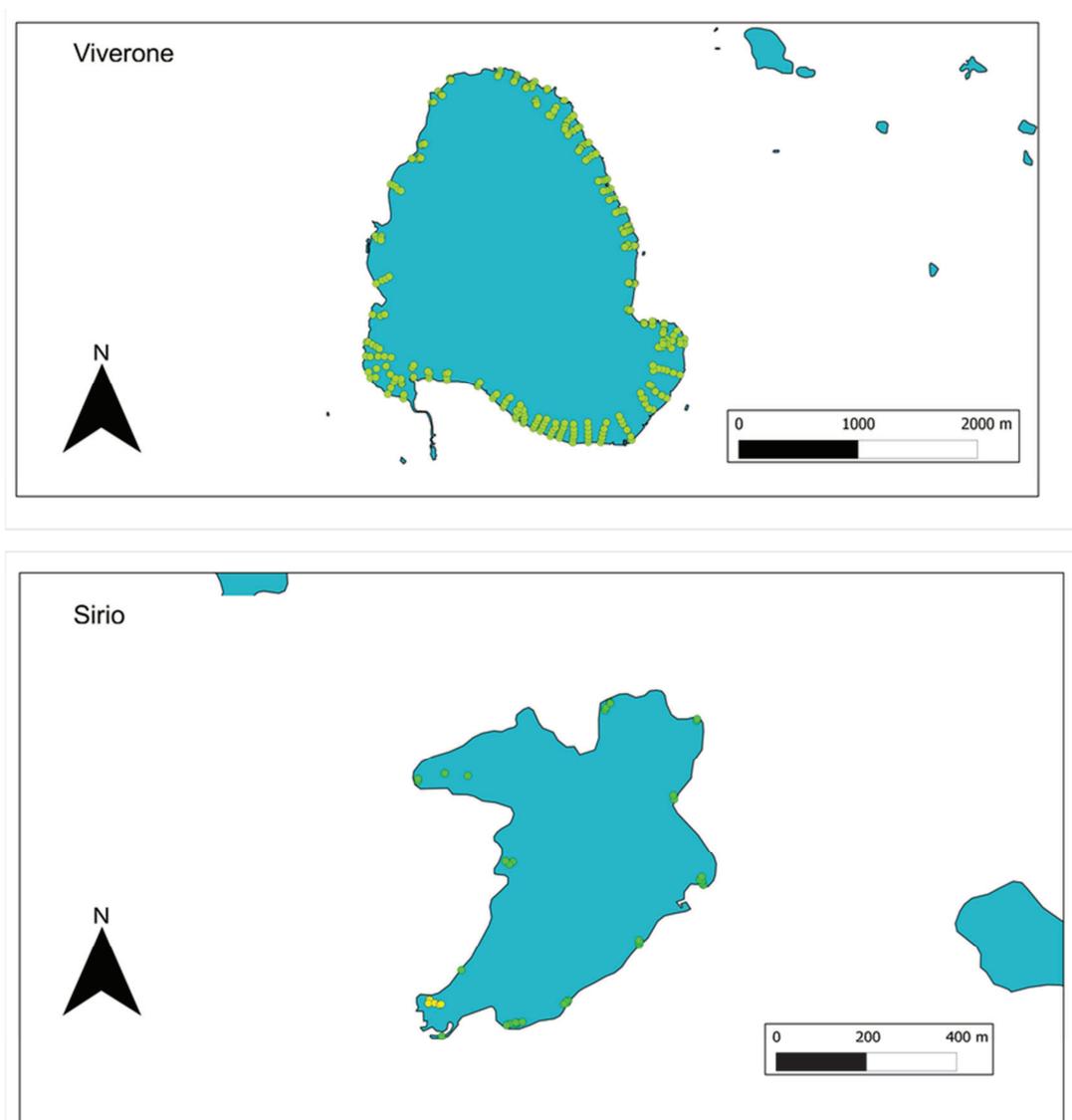


Fig. 3.3.1 - Punti di campionamento delle macrofite nei laghi di Viverone e Sirio, in Piemonte.

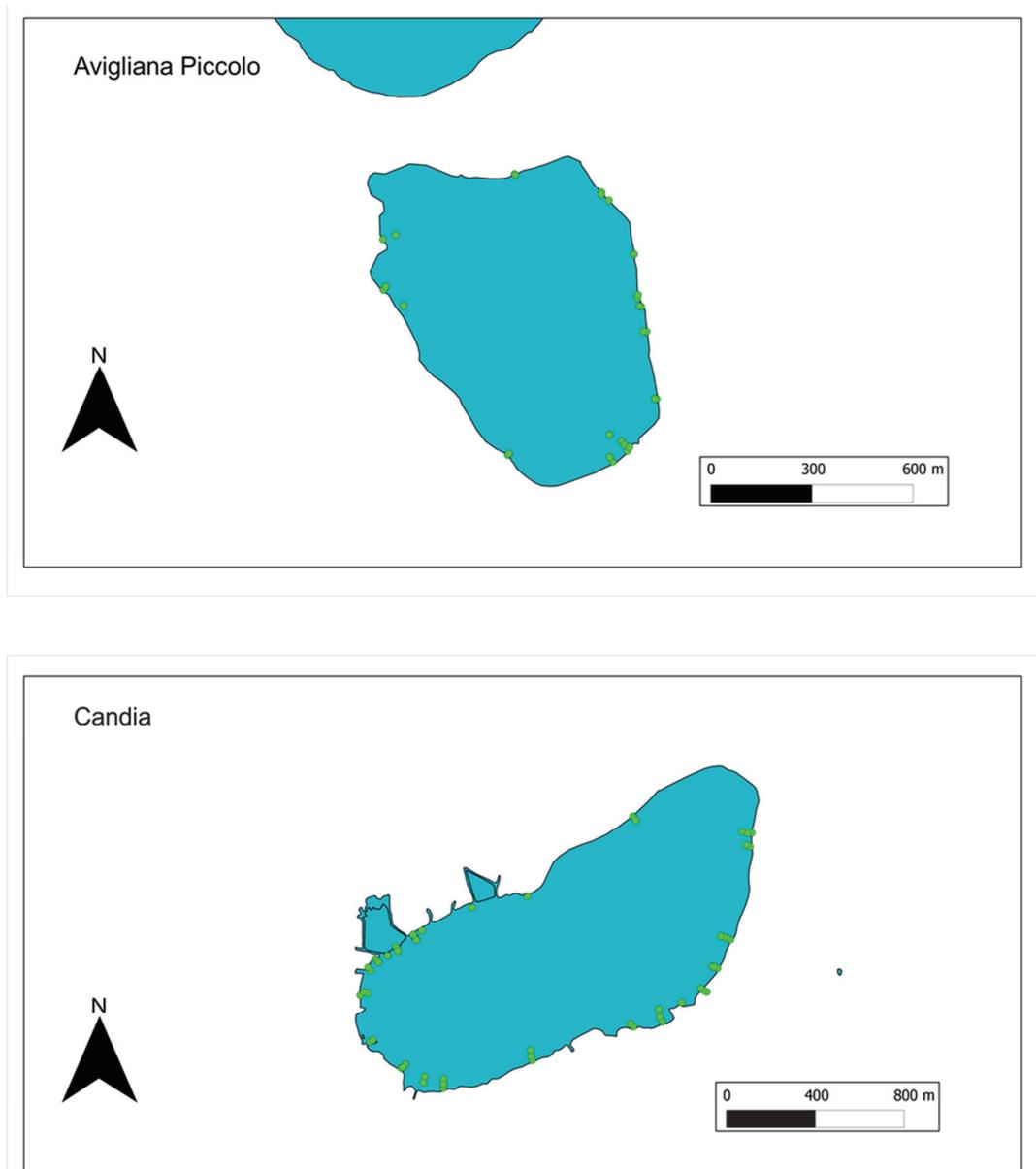


Fig. 3.3.2 - Punti di campionamento delle macrofite nei laghi Piccolo di Avigliana e di Candia, in Piemonte.

#### 3.3.4. *Abbinamento dei punti di rilievo degli hab-plots con i transetti di rilievo delle macrofite*

Ricordando che nel Lago di Mergozzo non sono state ritrovate macrofite, per i restanti quattro laghi naturali piemontesi sono stati individuati gli *hab-plots* inclusi in ogni sito omogeneo definito per il rilievo delle macrofite.

Tali *hab-plots* sono i punti di osservazione e di raccolta dati del metodo *Lake Habitat Survey* (LHS); come spiegato in precedenza essi sono disposti regolarmente lungo la sponda, a distanze regolari, contrariamente a quanto attiene ai transetti campionati per le macrofite che si dispongono a distanze irregolari, in funzione dell'ampiezza dei singoli siti omogenei.

Mentre nel caso del *Lake Habitat Survey*, l'operatore effettua il rilievo dalla barca ancorata in un punto fisso, per il campionamento delle macrofite egli si muove in barca lungo il transetto, da riva verso lago, fermandosi a profondità definite, via via crescenti secondo il passo di un metro, ancorando la barca all'interno dell'intervallo di profondità scelto.

Per abbinare gli *hab-plots* con i siti omogenei rilevati, la posizione dei transetti e quella degli *hab-plots* sono state riportate simultaneamente in una stessa carta elettronica (Fig. 3.3.3 e 3.3.4) e, tenendo conto dell'ampiezza di ogni sito omogeneo (vedasi par. 3.3.3), sono stati selezionati gli *hab-plots* per cui la distanza rispetto al transetto campionato per le macrofite fosse minore rispetto all'ampiezza del sito stesso (Fig. 3.3.5 e 3.3.6).

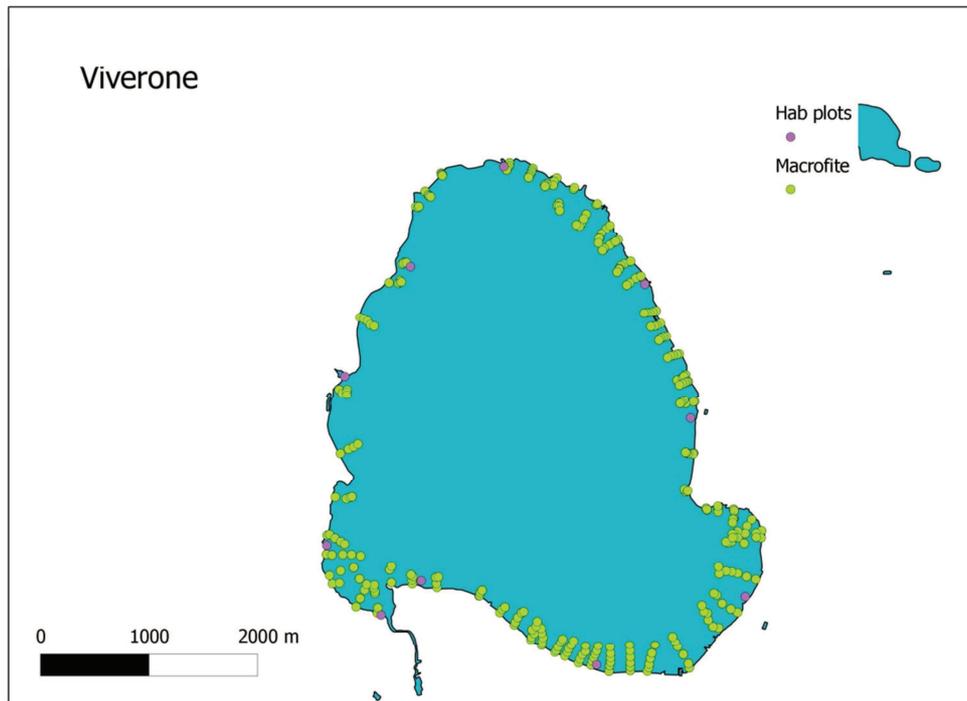


Fig. 3.3.3 – Punti di campionamento delle macrofite e *hab-plots* nei laghi di Viverone e Sirio, in Piemonte.

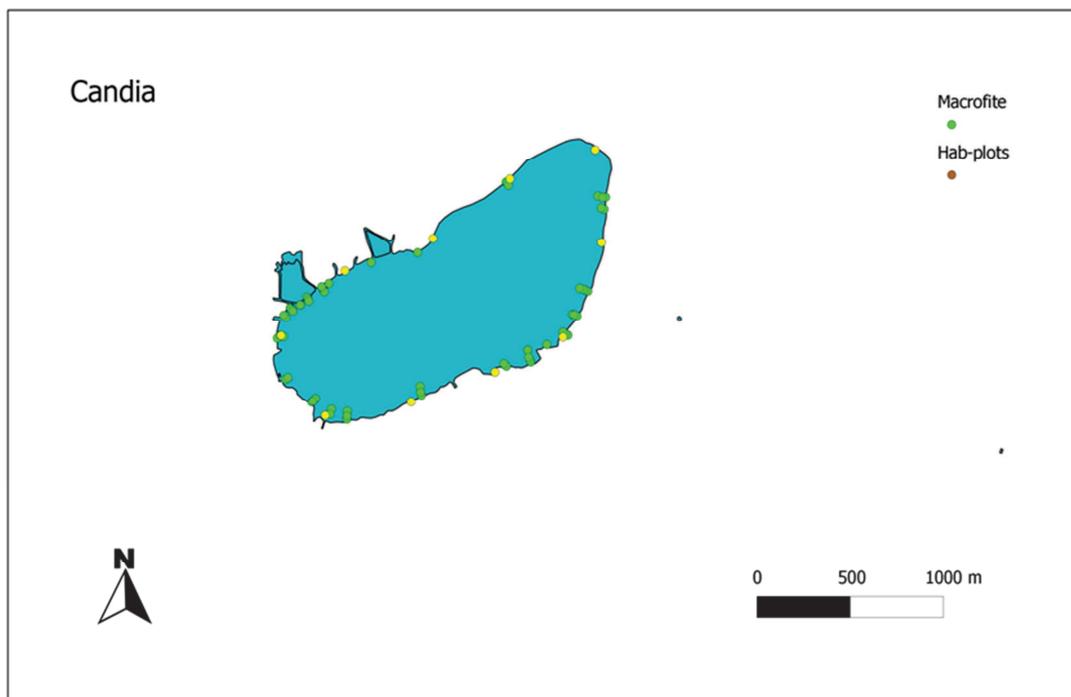
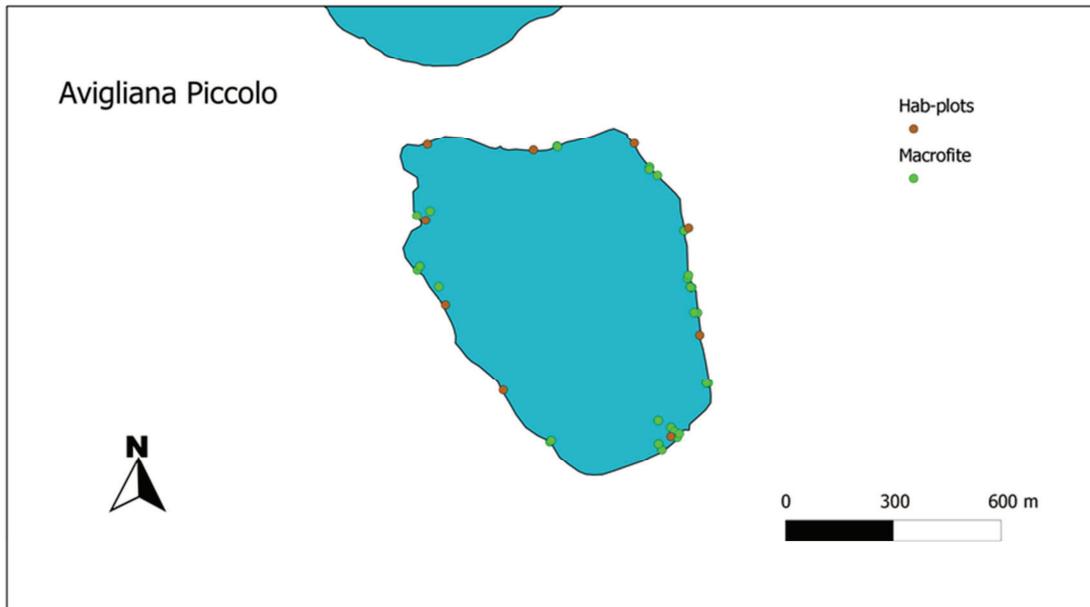


Fig. 3.3.4 – Punti di campionamento delle macrofite e *hab-plots* nei laghi Piccolo di Avigliana e di Candia, in Piemonte.

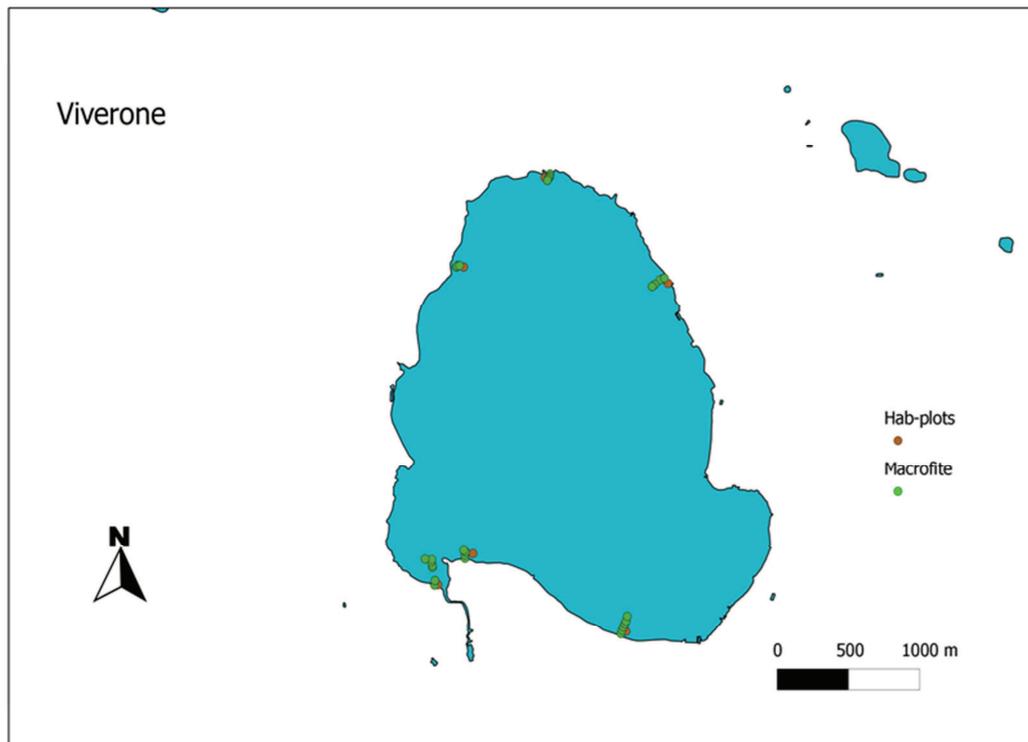


Fig. 3.3.5 – Punti di campionamento delle macrofite e *hab-plots* scelti per l'elaborazione nei laghi di Viverone e Sirio, in Piemonte.

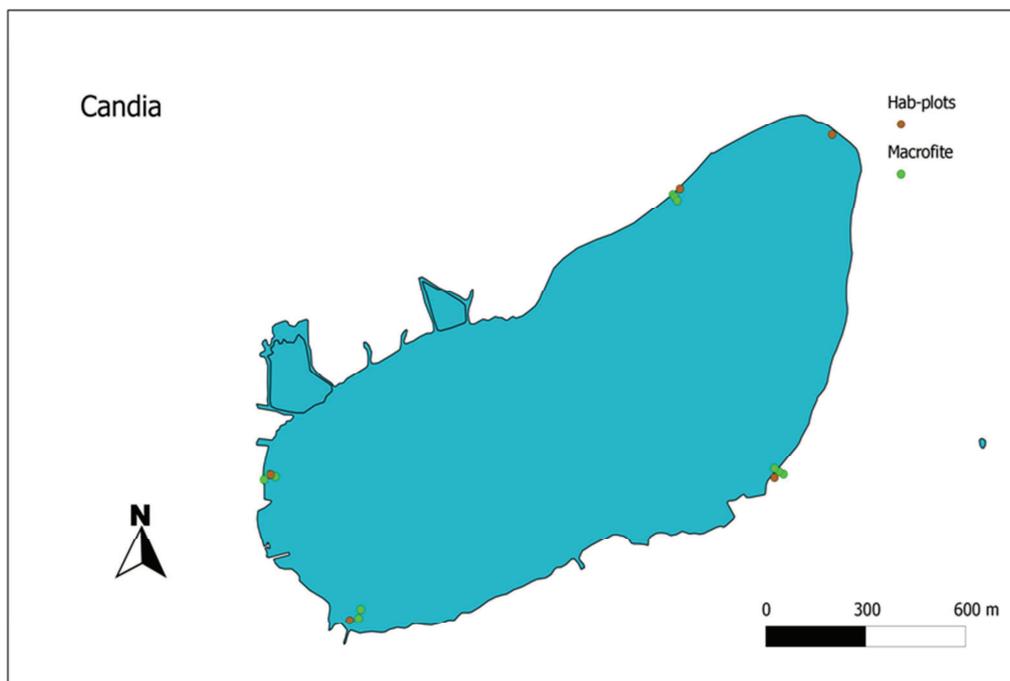
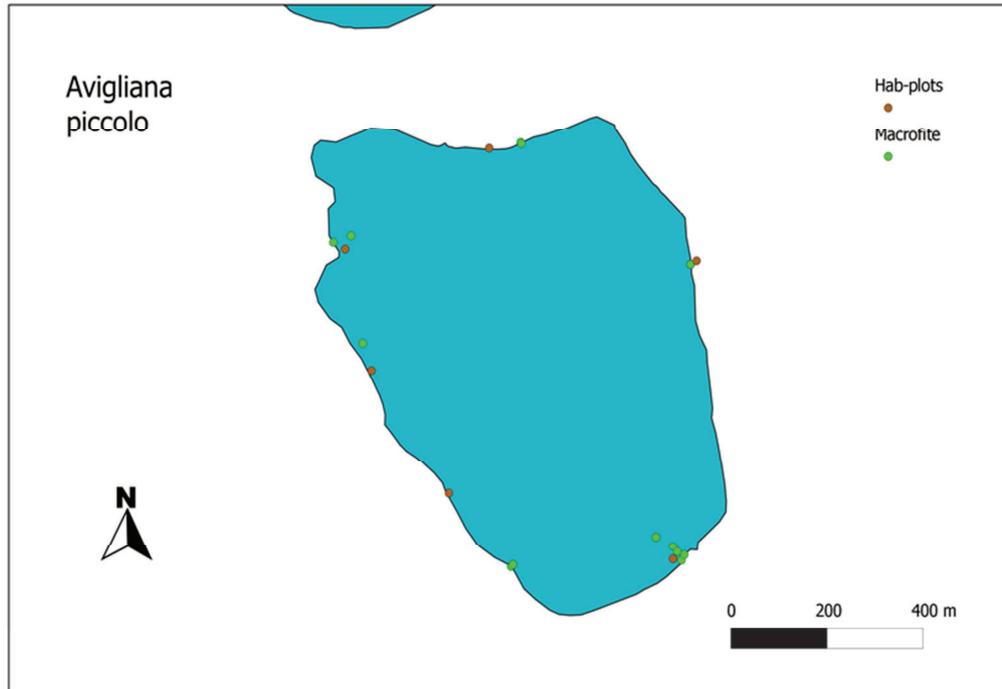


Fig. 3.3.6 – Punti di campionamento delle macrofite e *hab-plots* scelti per l’elaborazione nei laghi Piccolo di Avigliana e di Candia, in Piemonte.

### 3.3.5. *Relazione tra i risultati dei rilievi idromorfologici e la composizione della comunità macrofitica*

Le eventuali relazioni tra i risultati dei rilievi idromorfologici e la composizione della comunità macrofitica sono state esplorate utilizzando l’Analisi Canonica delle Corrispondenze (CCA). La CCA è un metodo numerico multivariato particolarmente adatto all’analisi di matrici sparse, come quelle prodotte dai rilievi floristici. Le abbondanze

relative delle specie macrofittiche sono state espresse in percentuale e le percentuali soggette a una trasformazione con la radice quadrata per stabilizzarne la varianza. I dati dei rilievi degli *hab-plots* sono stati trattati diversamente a seconda della scala originaria:

- le variabili quantitative sono state utilizzate tali e quali;
- per variabili semiquantitative, normalmente definite in una scala da 0 a 4, il valore “*tick*” è stato posto uguale a 0,5;
- le variabili fattoriali sono state trasformate in una serie di variabili binarie, ciascuna delle quali corrisponde ad uno dei possibili valori assunti dalla variabile originaria.

Sono state escluse dall’elaborazione le variabili del *Lake Habitat Survey* che rappresentano direttamente la comunità macrofittica (ad esempio “presenza di piante galleggianti”) e le coordinate geografiche, che avrebbero costituito una variabile fittizia per separare i laghi tra loro.

Anche escludendo queste variabili, il numero di variabili ambientali rilevate per ogni *hab-plot* era molto elevato, perciò sono state scelte le variabili più significative ricorrendo ad una selezione additiva (*forward selection*), utilizzando una procedura di *re-sampling* di tipo Montecarlo con 9999 permutazioni, senza indicazioni a priori di una schema di permutazione. L’elaborazione è stata effettuata con il software CANOCO versione 4.5, licenza numero CAN1213.

Una prima analisi, comprendente tutti i punti selezionati sui quattro laghi naturali piemontesi, ha portato alla individuazione di un sito aberrante (*outlier*), rappresentato da un transetto del Lago di Candia in cui le macrofite erano rappresentate da una comunità monospecifica di loto (*Nelumbo nucifera*), una pianta invasiva di origine asiatica occasionalmente presente anche nel Lago di Viverone. Tale punto, che da solo dominava l’analisi multivariata, è stato escluso dalle successive elaborazioni.

Nella seconda analisi (Fig. 3.3.7), che esclude il punto aberrante citato, i primi due assi spiegano il 26.8% della varianza della comunità macrofittica. Le variabili ambientate risultate significative nel controllare la composizione della comunità sono tre:

- la presenza di alberi (latifoglie) sulla riva prospiciente il tratto di sponda rilevato (LCBL in fig. 3.3.7), espressa come variabile binaria;
- la sponda con vegetazione, in particolare alberi alti (BKVETA in fig. 3.3.7), una variabile binaria strettamente correlata alla precedente;
- la sponda limosa (BKSI in fig. 3.3.7), espressa anch’essa come variabile binaria.

In particolare 3 punti sono caratterizzati dal valore “1” per almeno una delle prime due variabili, e la loro comunità macrofittica è risultata composta da *Nuphar luteum* e *Trapa natans*.

Per quanto riguarda invece i 4 punti caratterizzati dal valore “1” per la terza variabile, le loro comunità macrofittiche erano composte da *Najas marina*, *Najas minor*, *Nittella gracilis*, *Nuphar lutea* e *Polygonum amphibium*.

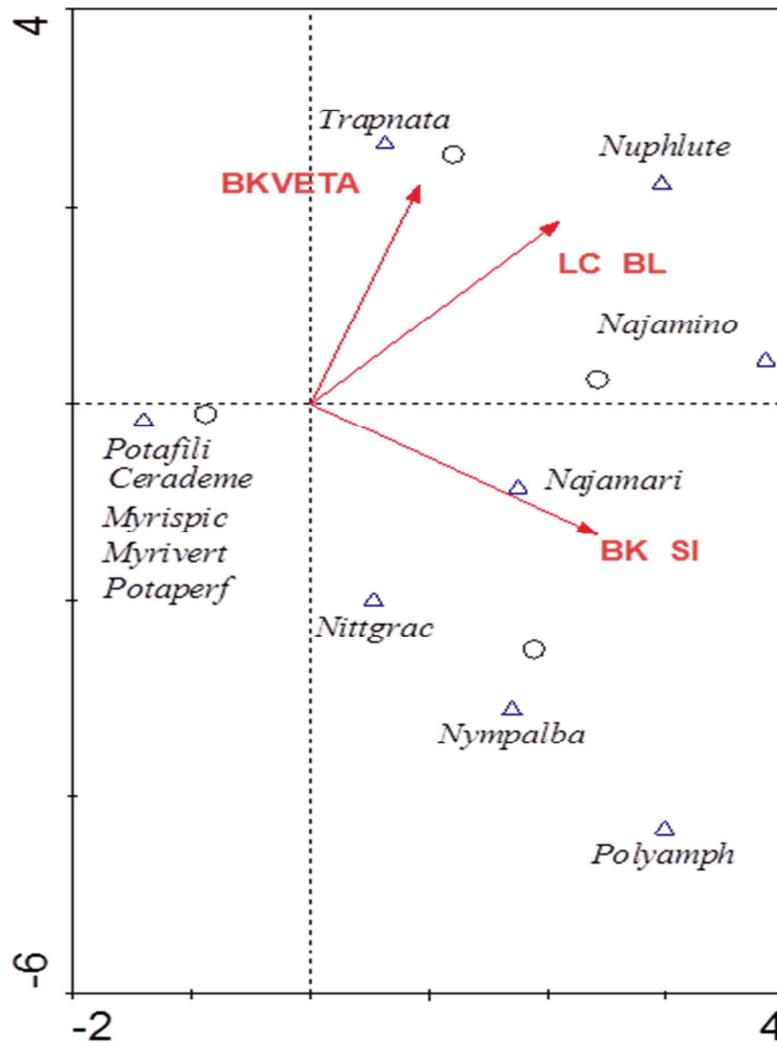


Fig. 3.3.7 – Triplot dell’analisi canonica delle corrispondenze (CCA) dei rilievi di macrofite e degli *hab-plots* dei laghi naturali piemontesi compresi nel progetto INHABIT. I triangoli rappresentano i centroidi delle specie, i cerchi i siti campionati e la proiezione delle frecce su ciascun asse è proporzionale alla correlazione tra la variabile ambientale e l’asse stesso oltre che all’autovalore di ciascun asse. I codici delle variabili sono riportati nel testo, quelle delle specie sono composti utilizzando le prime quattro lettere del nome del genere e le prime quattro lettere dell’epiteto specifico (vedi testo).

Si noti che, a causa del carattere binario delle variabili, i punti rappresentano diversi siti: 3 siti il punto in alto nel primo quadrante, un sito il punto in basso nel primo quadrante e 3 siti il punto nel secondo quadrante. I siti rappresentati nel primo e nel secondo quadrante sono tutti localizzati nei laghi di Candia ed Avigliana, mentre quelli nel terzo quadrante sono localizzati nei quattro laghi.

Tutti gli altri siti sono rappresentati dal punto nel terzo quadrante. Allo stesso modo, il triangolo nel terzo quadrante rappresenta le 5 specie che dominano questi siti: *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Myriophyllum verticillatum*, *Potamogeton perforatum*, *Potamogeton filiformis*.

I risultati dell’analisi mettono in evidenza che esiste una correlazione tra la composizione della comunità macrofittica e la struttura della sponda, rilevabile attraverso il *Lake Habitat*

*Survey*. Nel prossimo paragrafo si valuterà quindi se tale correlazione può influenzare la classificazione di qualità degli ambienti studiati.

### 3.3.6. Classificazione di qualità degli ambienti studiati e relazione con le variabili idromorfologiche

Ricordando che nel Lago di Mergozzo non sono state ritrovate macrofite, sulla base dei dati rilevati è stato possibile calcolare il valore delle metriche componenti il MacroIMMI, e dell'indice stesso, per i restanti quattro laghi naturali piemontesi (Tabella 3.3.1). Per le modalità di calcolo si rimanda ad Oggioni et al. (2001) e al *deliverable* I1d5.

Tabella 3.3.1 – Valori calcolati delle metriche costituenti il MacroIMMI e dell'indice sintetico, considerando tutti i siti campionati.

Lago	n. siti	Score trofico	Diversità	Frequenza sommerse	100 – Freq. esotiche	Profondità di crescita	MacroIMMI
Viverone	20	0,43	57	94	94	7,1	0,55
Avigliana	14	0,40	70	84	100	3,7	0,56
Candia	18	0,54	73	31	92	3,7	0,29
Sirio	12	0,39	62	96	100	6,5	0,60

Per quanto riguarda i laghi di Candia e Piccolo di Avigliana, nella tabella 3.3.2 si riportano i valori delle singole metriche calcolati utilizzando solo i siti dove il *Lake Habitat Survey* ha rilevato la presenza di alberi (latifoglie) sul terreno prospiciente la riva (LCBL), o una sponda limosa (BKSI) o entrambi, rispetto a quelli calcolati utilizzando tutti gli altri siti. In entrambi i casi i siti utilizzati sono pochi (3-4) rispetto a quelli utilizzati per la classificazione della qualità ecologica degli stessi laghi secondo il protocollo nazionale.

Tabella 3.3.2 – Valori calcolati delle metriche costituenti il MacroIMMI e dell'indice sintetico, considerando i siti caratterizzati secondo il *Lake Habitat Survey*. Per i codici delle tipologie si veda il testo.

Lago	Tipologia	n. siti	Score trofico	Diversità	Frequenza sommerse	100– freq esotiche	Profondità di crescita	Macro IMMI
Avigliana	LCBL	3	0,39	64	67	100	3,7	0,55
	BKSI	4	0,39	68	63	100	3,7	0,49
	altro	7	0,41	68	94	100	3,7	0,66
Candia	LCBL	3	0,69	65	0	40	3,2	0,04
	altro	15	0,53	71	37	100	3,7	0,43

Dal confronto tra la tabella 3.3.1 e la tabella 3.3.2 si può evincere che le caratteristiche idromorfologiche della sponda non alterano in modo significativo le metriche che

costituiscono l'indice MacroIMMI, che può quindi essere considerato robusto rispetto alle caratteristiche idromorfologiche della sponda.

I valori di diversità riportati in tabella 3.3.2 sono leggermente minori di quelli riportati in tabella 3.3.1 per gli stessi laghi, ma questa differenza è chiaramente motivata dal numero ridotto di siti utilizzati per la classificazione nella seconda tabella, che non permettono di cogliere appieno la diversità *beta* (cioè la diversità tra siti) all'interno dei singoli laghi.

Si noti invece come la frequenza di specie sommerse sia molto bassa nei siti del Lago di Candia individuati come LCBL in tabella 3.3.2, e come questa differenza influenzi pesantemente l'indice complessivo MacroIMMI.

In questo caso la differenza può essere dovuta alla diversa disposizione delle specie sommerse e delle altre specie nei due laghi. Infatti, nei laghi di Avigliana Piccolo e di Candia, le macrofite sommerse si trovano in siti di dimensioni più piccole, generalmente larghi tra 17 e 210 m, con due eccezioni di 665 e 770 m. Al contrario le altre specie si trovano in siti più grandi, tra 40 e 1300 metri, anche qui con un'eccezione di 23 m. Sebbene le estensioni medie dei due gruppi di siti sia simile (255 m per i siti senza specie sommerse e 170 m per quelli con specie sommerse), le mediane sono molto diverse (106 m contro 40 m), testimoniando come le specie sommerse si trovino generalmente in siti di minori dimensioni. Dal momento che gli *hab-plots* sono collocati in modo regolare lungo il lago, la probabilità che cadano casualmente nei siti contenenti specie sommerse è quindi minore.

L'esame di questi dati indica che la conformazione idromorfologica della sponda non pare influenzare in modo significativo la classificazione del lago, ma che sia comunque necessario mantenere un numero elevato di transetti, e soprattutto valutare con attenzione la presenza delle macrofite sommerse, normalmente presenti in siti di dimensioni ridotte, per evitare una sottostima della qualità ecologica dei laghi.

La composizione in specie delle macrofite è correlata alla natura del substrato lacustre, dell'uso del suolo della sponda e di quello di tutta l'area circostante il lago. I siti, omogenei dal punto di vista della composizione in specie, sono la corrispondenza biologica della natura del substrato e l'uso del suolo sul bacino imbrifero. Si ritiene comunque opportuno identificare questi parametri nel momento della definizione dei siti omogenei per il campionamento delle macrofite.

### 3.3.7. Conclusioni

Alla fine di questa analisi è possibile concludere quanto segue:

1. La mancanza di macrofite compromette la possibilità di classificazione attraverso l'uso dell'indice MacroIMMI e per definizione non possono essere individuati i siti.
2. L'uso del suolo a ridosso della sponda e la composizione del substrato sono quelli che maggiormente risultano correlati con la presenza di macrofite. Questo indica come la composizione in specie, nei siti stessi, sia particolarmente adatta a rappresentare questo tipo di parametri.

3. Infine la composizione in specie nei siti non è influenzata dalla conformazione idromorfologica della sponda, ma è evidente come la natura del substrato e l'uso del suolo siano più importanti nel determinare la composizione delle specie sommerse quando quelle galleggianti non sono presenti.

#### 4. POTENZIALI EFFETTI SULLE MISURE DI RECUPERO E CRITERI PER RIDURRE L'INCERTEZZA

In ambito comunitario, le maggiori preoccupazioni sull'efficacia delle misure di recupero previste dai Piani di Gestione emanati dagli Stati Membri riguardano i possibili effetti dei cambiamenti climatici. In un recente rapporto (Commissione Europea, 2009) si sottolinea che il cambiamento climatico di origine antropogenica sta manifestando i suoi effetti sugli ecosistemi acquatici in tutta Europa. Tuttavia, secondo questo rapporto, alle scale temporali previste per l'implementazione della Direttiva 2000/60 (ovvero da oggi al 2027) ed in relazione alle metriche usate, non sarebbe possibile separare gli effetti del cambiamento climatico da quelli dovuti ad altre pressioni, se non in quei corpi idrici che si trovano ai limiti degli intervalli di temperatura o in particolari situazioni idrologiche. In conclusione, non sarebbe necessario rivedere le condizioni di riferimento e gli obiettivi alla luce dei cambiamenti climatici. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, l'impatto del clima potrebbe amplificare l'effetto di pressioni già esistenti a scala di bacino (Malve et al., 2012).

Tra le conseguenze del riscaldamento globale ci si dovrebbe attendere un incremento della frequenza ed intensità degli eventi estremi (Dokulil & Teubner, 2011), con il risultato di un aumento del dilavamento dei suoli, delle piene, dell'erosione. Questi fenomeni avrebbero l'effetto di portare ai bacini lacustri nuovi carichi di nutrienti, in grado di rendere inefficaci le misure di risanamento messe in atto e di provocare alterazioni delle comunità biotiche simili a quelle che si osservano con l'eutrofizzazione (Morabito et al., 2012).

Una analisi degli effetti di eventi climatici estremi può essere fatta solamente per quegli ambienti per i quali sono disponibili serie pluriennali di dati biologici: tra i laghi campionati nel progetto INHABIT, il Lago di Candia offre questa possibilità per quanto riguarda il fitoplancton, essendo disponibili dati mensili di tale elemento biologico dal 1986. L'effetto della variabilità meteo-climatica è stato valutato studiando le variazioni stagionali e pluriennali della clorofilla *a*, in relazione alla quantità di precipitazioni cadute sul bacino. Ricordiamo che il bacino del Lago di Candia è in gran parte coltivato. Quindi, in caso di abbondanti precipitazioni, consistenti quantità di nutrienti algali possono raggiungere il lago, a seguito del dilavamento dei suoli agricoli.

L'analisi delle relazioni tra la concentrazione di clorofilla media nella colonna d'acqua e la quantità totale di precipitazione ha messo in evidenza una stretta correlazione (Fig.4.1) tra la pioggia che cade sul bacino nel periodo marzo-maggio e la crescita del fitoplancton in primavera ed estate (aprile-agosto). Avendo calcolato in circa due mesi il ritardo necessario perché la pioggia caduta sul bacino raggiunga il lago attraverso la falda, la relazione spiega bene l'effetto che un incremento del *runoff* potrebbe avere sullo stato di trofia del lago.

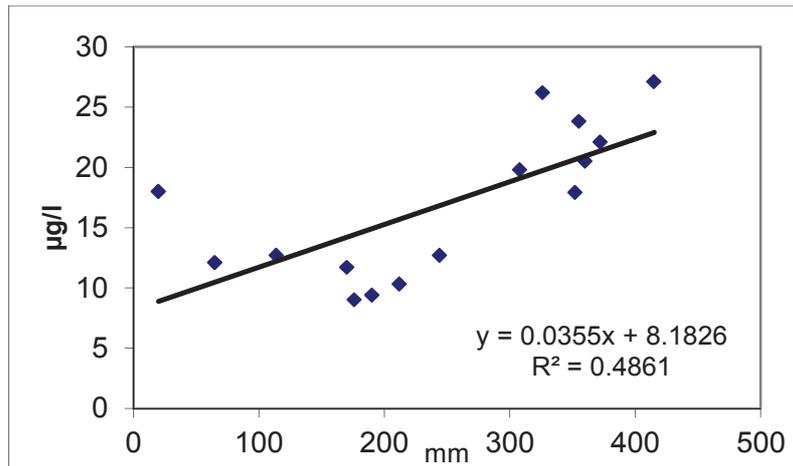


Fig.4.1. Lago di Candia. Correlazione tra clorofilla nello strato 0-6 m (media aprile – agosto) e la quantità di precipitazione (marzo-maggio). Periodo di riferimento: 1988 – 2007.

In particolari condizioni ed in presenza di eventi particolarmente intensi i nutrienti arrivano al lago in tempi brevissimi, determinando un improvviso innalzamento delle concentrazioni di nutrienti: un caso simile è stato osservato sul Candia il 5 giugno del 2002, quando, a seguito di un eccezionale evento piovoso (110mm in due ore), la concentrazione di TP è salita dai 39  $\mu\text{g l}^{-1}$  (media colonna), misurati pochi giorni prima dell'evento, agli 89  $\mu\text{g l}^{-1}$ , registrati il giorno seguente l'evento stesso.

Il caso del Lago di Candia dimostra quanto sia necessario, nei piani di gestione dei bacini, considerare anche gli effetti del cambiamento climatico in atto, intervenendo con misure rivolte al controllo di quelle che potrebbero diventare, nell'arco di pochi anni, fonti di inquinamento importanti e, fino ad ora, relativamente trascurate, poiché le misure di risanamento sono state, in prevalenza, rivolte ad intercettare le sorgenti puntiformi di inquinamento, trascurando i carichi da fonti diffuse.

Ricordando che l'obiettivo dei piani di gestione è mantenere o riportare i corpi idrici in una classe di qualità buona, la precisione della determinazione della classe di qualità attuale è fondamentale, sia per la definizione delle misure di risanamento che per valutare gli effetti delle misure stesse attraverso campagne periodiche (monitoraggio operativo).

In questo senso, è importante comprendere l'influenza delle caratteristiche idromorfologiche sulla classificazione della qualità ecologica, in modo da migliorare la precisione della stima.

Per quanto riguarda la comunità bentonica, l'indicazione che emerge da questo studio è che essa differisce significativamente a seconda degli *habitat* considerati, un solo transetto non permette una corretta valutazione ecologica di una lago di certe dimensioni, ma anche distribuire più transetti non è sufficiente a rappresentare la situazione dell'intero lago. Pur essendo evidente una correlazione elemento di qualità-aspetti idromorfologici questa non risulta significativa, probabilmente per la scarsità di osservazioni. Una delle possibili proposte potrebbe essere quella di mantenere il numero previsto di stazioni di campionamento nelle fasce sub-litorale e profonda, ma di incrementare il numero di tali

stazioni lungo le rive. Inoltre, stazioni di campionamento situate in prossimità di immissari portano a conclusioni fuorvianti in ambienti naturali.

Dai risultati di questo rapporto appare che i macroinvertebrati bentonici rappresentano l'elemento di qualità biologica più sensibile alle condizioni idromorfologiche, tra quelli previsti dalla Direttiva 2000/60/EC e dai decreti ministeriali e quindi il più adatto a rilevare il peggioramento della qualità ecologica dell'ambiente legato a perturbazioni idromorfologiche, e in particolare all'alterazione delle sponde. Si ritiene quindi che debba essere fatto un ulteriore sforzo per l'inserimento di questo elemento di qualità nel quadro legislativo nazionale per meglio valutare la risposta della comunità macrobentonica alle alterazioni locali dell'*habitat*.

Le pressioni idromorfologiche presenti sui corpi idrici lacustri sono ad oggi sufficientemente indagate e note. Non ancora ben definiti sono invece i legami e gli impatti sulle biocenosi acquatiche, soprattutto su quelle vagili come i pesci. Essi possono spostarsi e trovare luoghi non soggetti a pressioni morfologiche locali, o trovare strategie difensive efficaci in caso di pressioni agenti su larga scala. Va anche sottolineato che spesso l'introduzione di specie ittiche da parte dell'uomo non aiuta la definizione del legame tra pressioni idromorfologiche e impatti su tale biocenosi.

E' lecito pensare che le biocenosi maggiormente stanziali siano le più soggette a subire impatti a causa delle pressioni idromorfologiche, sia locali, come la presenza di artificializzazioni sulle sponde o nella zona litorale, sia a carattere più diffuso come le fluttuazioni elevate di livello; quindi potenziali effetti positivi delle misure di recupero sono quelli che vanno a migliorare gli *habitat* locali e quelli su più ampia scala, maggiormente legati allo sviluppo e al mantenimento di una elevata biodiversità macrofitica e di macroinvertebrati. Risulta quindi opportuno approfondire maggiormente le relazioni tra le pressioni idromorfologiche e i macroinvertebrati e le macrofite, sia aumentando i campionamenti congiunti dei due elementi e dei parametri idromorfologici, sia indagando il maggior numero di laghi e pressioni specifiche.

Maggiori informazioni congiunte si riusciranno a ottenere, maggiori saranno le conoscenze del sistema lago e delle relazioni pressioni-impatti che permetteranno di organizzare misure di recupero efficaci e ridurranno le incertezze sia per quanto riguarda la classificazione che per quanto riguarda l'efficacia di tali misure.

Non avendo ancora completato le analisi degli elementi biologici su tutti i laghi non è possibile definire dei criteri specifici per ridurre l'incertezza e pertanto, per lo sviluppo di questo aspetto, si rimanda ai successivi *deliverables*.

## 5. INFLUENZA DELL' IDROMORFOLOGIA SULLA CLASSIFICAZIONE BIOLOGICA – AGGIORNAMENTO

Di seguito sono presentate le risultanze delle analisi effettuate a completamento e come aggiornamento di quanto riportato nel capitolo 3 di questo deliverable. Le analisi qui riportate fanno riferimento a tutti i laghi che è stato possibile campionare, e a tutte le analisi complete che, al momento della stesura del capitolo 3, non erano ancora totalmente disponibili per tutti i parametri di qualità biologica studiati.

Le analisi e le relazioni aggiornate riguardano in particolare i macroinvertebrati e i pesci in quanto le analisi e i risultati relativi alle macrofite erano già completi nella precedente versione di questo deliverable. Per quanto riguarda il fitoplancton, come già esposto in precedenza, trattandosi di una comunità biotica pelagica, è difficile ipotizzare che alterazioni della morfologia lacustre possano provocare impatti diretti sulla struttura della biocenosi. Se le modificazioni dell'habitat sono dovute, prevalentemente, ad interventi antropici che alterano la naturalità delle sponde e della fascia litorale, è molto probabile che il fitoplancton non subisca una pressione diretta, come evidenziato dai casi dei bacini di Morasco e Serrù che, classificati secondo l'indice fitoplanctonico ICF (D.Lgs. n. 260/2010), rientrano rispettivamente, nelle classi di qualità Elevata e Buona, pur essendo un corpo idrico altamente modificato il primo ed artificiale il secondo. Negli invasi sardi, i valori degli indici fitoplanctonici rispecchiano la qualità trofica delle acque lacustri, in relazione ai carichi di nutrienti da fonti diffuse. Anche in questo caso, quindi, le comunità fitoplanctoniche non risentono direttamente di alterazioni morfologiche, quanto, piuttosto, di pressioni derivanti dalle attività antropiche che si svolgono nel bacino imbrifero. In questi corpi idrici, quindi, il fitoplancton risponde alle variazioni dei parametri chimico-fisici indicatori di eutrofizzazione, piuttosto che a quelle dei parametri idromorfologici.

Stando a quanto emerge dalla letteratura scientifica, è possibile che significativi cambiamenti nell'idrologia di bacini lacustri, come, per esempio, forti escursioni di livello o variazioni sostanziali nel tempo di ricambio, possano impattare la composizione delle biocenosi fitoplanctoniche, alterando la struttura termica della colonna d'acqua o modificando la normale dinamica delle successioni stagionali. Solamente in queste situazioni è ipotizzabile una relazione diretta tra idrologia e fitoplancton: tuttavia, i dati raccolti all'interno del progetto INHABIT non sono sufficienti per investigare queste dinamiche nei bacini studiati.

### 5.1 Macrobentos

A completamento e aggiornamento di quanto già presentato nel capitolo 3 di questo deliverable, che presentava i soli dati del Viverone, e come ampliamento e completamento di quanto riportato nel deliverable I1d5, si presenta qui la documentazione delle analisi statistiche svolte sui laghi del progetto INHABIT.

Tab. 5.1 – Siti scelti per l'analisi e relativi *Habplots*

LAGO	STAZIONI	HABPLOT LHS
Viverone	VivT1Lit	5
	VvT2Lit	8
	VivT3Lit	2
Mergozzo	MerT1Lit	6
Avigliana piccolo	AvT1Lit	3
	Candia	CanLitSx
	CanLitDx	5
Sirio	SirT1Lit	6
	SirT1Sub	5
Posada	PosT2Sub	4
	PosT3Sub	10
Sos Canales	SosT1Sub	5

L'approccio statistico considerato in un primo momento, a scala locale, *Canonical Correspondence Analysis* (CANOCO 4.5 - Ter Braak & Smilauer, 2002), ha considerato solo quei laghi che presentavano:

- 1) esistenza di campionamenti standardizzati, ossia due campionamenti all'interno dell'anno di studio, almeno due fasce di profondità e tre replicati per fascia;
- 2) presenza di siti posizionati nelle vicinanze degli *HabPlots* relativi all'applicazione del *Lake Habitat Survey* (LHS) (Tab. 5.1).

Ed inoltre, per ogni lago si sono considerati solamente:

- i soli dati della fascia litorale, e in alcuni casi sublitorale (invasi Sardi),
- le diverse pressioni o variabili ambientali naturali stimate nell'applicare il *Lake Habitat Survey*

per verificare se esisteva una correlazione fra fattori antropici e fauna, infatti i litorali lacustri risultano generalmente i più toccati dalle alterazioni morfologiche e antropiche della costa. Oltre alle caratteristiche relative ad ogni *HabPlot*, per gli aspetti biologici si è fatto riferimento alle abbondanze annuali delle specie relative ai soli siti inclusi nell'elaborazione.

Sono stati esclusi tre invasi Sardi (Torrei, Bidighinzu e Liscia) e due laghi Piemontesi (Morasco e Serrù) per mancanza di punti di campionamento vicini agli *HabPlots* considerati nell'applicazione del LHS, o per mancanza di dati biologici relativi a una delle due campagne di campionamento dovuta a pessime condizioni meteo-climatiche. In totale quindi l'elaborazione si basa sulle risultanze di 7 laghi.

Nei grafici a seguire, i codici assegnati ai laghi rappresentano: il nome del lago (es: Viv=Viverone, Can=Candia ecc.), il transetto (T) e la fascia di campionamento (Lit = litorale, Sub = sublitorale). Nel solo caso del Lago di Candia, data la sua scarsa profondità, non è stato possibile evidenziare altre fasce oltre quella litorale, che quindi è stata quella più campionata (Sx= sinistra rispetto al centro del lago; Dx= destra rispetto al

medesimo punto).

Successivamente, a scala globale, sempre tramite CCA, si è cercato di trovare delle correlazioni fra aspetti biologici (valutati come abbondanze relative), differenti metriche basate sugli aspetti biologici (Indici di diversità, di equitabilità, di dominanza) e gli indici idro-morfologici forniti dall'applicazione dell'LHS (LHMS e LHQA) per mettere in luce se i diversi Indici adottati erano rappresentativi di situazioni morfologicamente diverse e contrastanti.

Infine, la stessa analisi multivariata è stata adottata considerando l'abbondanza totale (sempre espressa come abbondanze relative) della fauna di ogni lago, il BQIES (Indice di Qualità Bentonico, Rossaro et al. 2011) e gli indici LHMS (*Lake Habitat Modification Score*) e LHQA (*Lake Habitat Quality Assessment*) stimate tramite LHS, per mettere in luce se il BQIES era in grado di fornire una valutazione ecologica analoga a quanto derivato dall'LHS.

I parametri derivati dall'applicazione dell'LHS sono stati inizialmente selezionati eliminando le caratteristiche che presentavano valori uguali per tutte le stazioni, che quindi sarebbero risultate non significative ai fini dell'analisi statistica. Per quanto riguarda la fauna invece, si è proceduto eliminando le specie rare, ossia quelle specie o quei *taxa*, che presentavano abbondanze < 5%, e che erano state trovate in meno di 3 siti. Successivamente i parametri idro-morfologici e i dati relativi agli aspetti faunistici sono stati trasformati rispettivamente in log10 e radice quadrata per normalizzare la loro distribuzione.

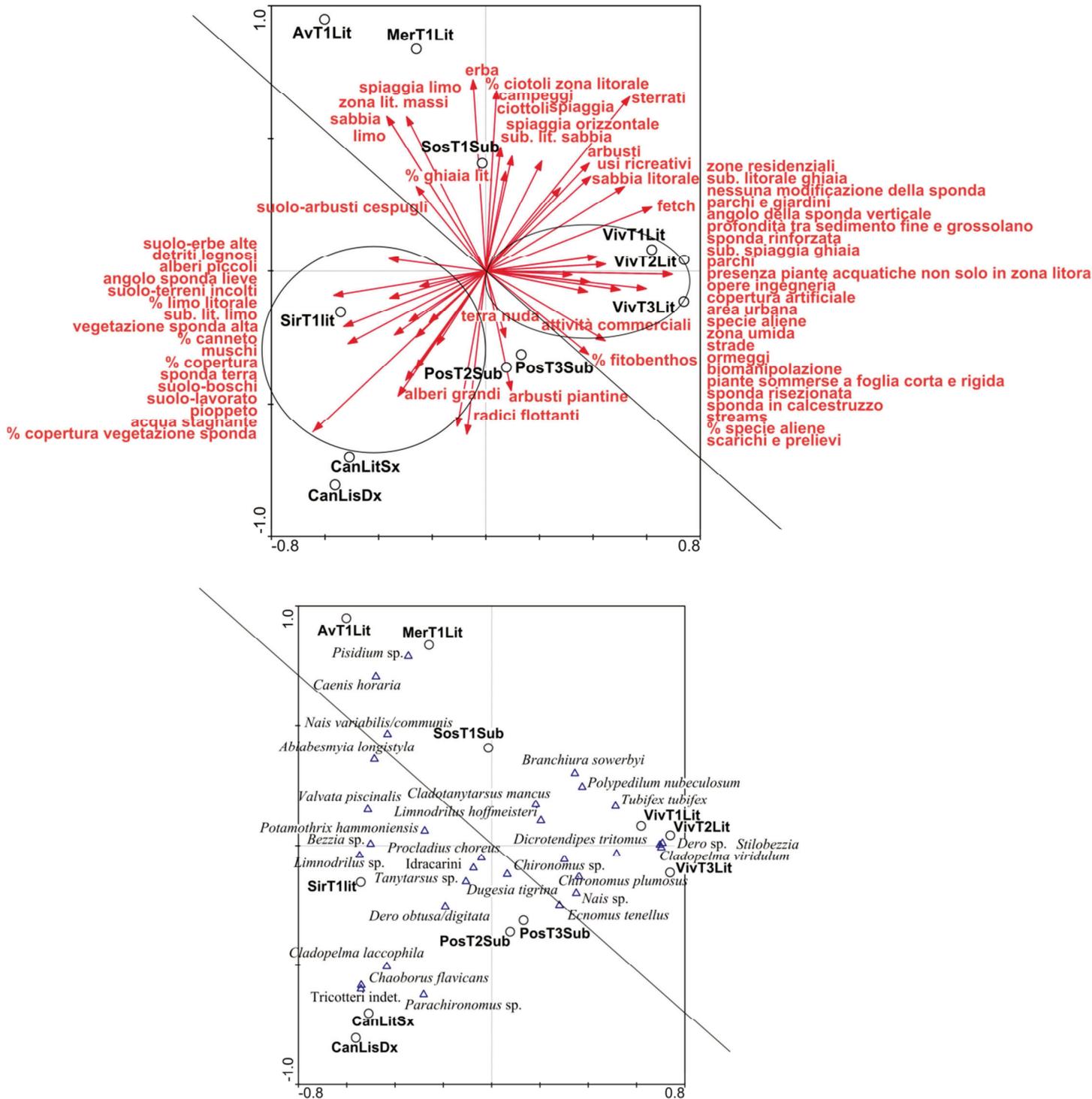


Fig. 5.1. – Ordinamento delle stazioni di campionamento e delle caratteristiche idro-morfologiche lungo i primi due assi della CCA. Alto: solo aspetti idro-morfologici e siti campionati. Le zone cerchiata indicano l'insieme delle variabili riportate ai lati del grafico. Basso: solo le specie ed i siti. La linea continua in entrambi rappresenta la divisione tra zone naturali e impattate.

### 5.1.1 Risultati

Nei siti scelti per l'analisi sono stati identificati complessivamente 5121 individui, per un totale di 114 unità tassonomiche.

Su di essi è stata eseguita una prima CCA, che ha dato come risultato principale la presenza di un *outlier*, rappresentato dal sito SirT1Sub. Questo punto di campionamento presenta infatti un'abbondanza relativa di Caoboridi pari al 99%, ed è stato quindi eliminato dall'elaborazione. Successivamente sono state eliminate le specie rare, arrivando ad ottenere un dataset di 30 *taxa* per un totale di 4379 organismi. In particolare, i *taxa* rimasti sono rappresentati da: *Ablabesmyia longistyla*, *Chironomus plumosus*, *Chironomus sp.*, *Cladopelma gr. laccophila*, *Cladotanytarsus gr. mancus*, *Cladopelma viridulum*, *Dicrotendipes gr. tritonus*, *Parachironomus sp.*, *Polypedilum gr. nubeculosum*, *Procladius choreus*, *Tanytarsus sp.*, fra i chironomidi: *Branchiura sowerbyi*, *Dero sp.*, *Dero digitata/obtusa*, *Limnodrilus sp.*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Nais sp.*, *Nais communis/variabilis*, *Potamothrix hammoniensis*, *Tubifex tubifex*, fra gli oligocheti: *Caenis horaria*, *Ecnomus tenellus*, fra i Tricotteri: *Bezzia sp.*, *Chaoborus flavicans*, *Stilobezzia/palpomyia*, fra i Ditteri: *Pisidium sp.*, *Valvata piscinalis*, fra i molluschi e *Dugesia tigrina* fra i Turbellari. Da notare che molti di questi *taxa* sono rappresentati da generi non identificati a livello specifico per pessimo stato di conservazione dell'organismo o in quanto stadi giovanili.

Per prima cosa è stato eseguito il test di Monte Carlo (499 permutazioni,  $p < 0,05$ ) per valutare quali variabili risultassero significative. Il test ha messo in luce 5 parametri: la presenza di muschi e licheni, di sterrati, di piante sommerse a foglia corta e rigida e la presenza di acqua stagnante, oltre all'uso del suolo con terreni incolti e praterie. Questi risultati però, non forniscono un'idea di come le modificazioni della sponda vadano ad influenzare la comunità a macroinvertebrati, in quanto le 5 variabili significative non comprendono nessun parametro dell'LHS legato ad alterazioni di tipo antropico. Si è quindi deciso di svolgere l'analisi con tutte le variabili legate all'idro-morfologia. Data la presenza di numerose variabili, per maggior chiarezza sono stati prodotti due *biplot*, uno con le sole caratteristiche dell'LHS (Fig. 5.1a in alto) ed un altro con le specie (Fig. 5.1b in basso), in modo da facilitarne la lettura.

La varianza spiegata dai primi due assi è pari al 54% e si può notare una certa separazione tra i parametri naturali e quelli di carattere antropico, separati dalla linea continua sul grafico. In particolare, l'asse 1 spiega il 34% della varianza ed evidenzia la separazione tra le caratteristiche naturali (es: copertura vegetale della sponda, presenza di vegetazione spontanea, canneti e boschi, etc.) e quelle antropiche (es: sponda rinforzata e risezionata, opere di ingegneria, presenza di zone residenziali e commerciali, etc.) Le stazioni di campionamento vengono così suddivise sulla base delle caratteristiche morfologiche delle sponde e del litorale, con il Lago di Viverone che risulta essere il più toccato dall'antropizzazione, mentre il Lago Sirio quello più vicino alla naturalità. In generale, i laghi naturali piemontesi si trovano nella parte sinistra del grafico, e sono quindi legati a caratteristiche più naturali, mentre gli invasi sono in una posizione intermedia, in quanto, pur essendo molto naturali (non esistono centri abitati sulle sponde del lago e le

sponde non sono toccate da alcuna forma di opera ingegneristica), presentano comunque il muraglione della diga (e l'utilizzo di acqua che ne deriva), che risulta avere quindi un certo grado di impatto sulla fauna.

L'asse 2 spiega il 20% della varianza totale, e risulta essere legato alla tipologia di substrato separando la terra nuda da tutte le altre tipologie. I laghi sono quindi separati sulla base della tessitura del sedimento o della fascia litorale e dalla presenza di grandi alberi e cespugli.

Tab. 5.2 – Autoecologia sintetica delle specie trovate in ambienti naturali e antropici.

ZONA IMPATTATA		ZONA NATURALE	
Chironomus plumosus	Tollerante Tutti gli ambienti	Ablabesmyia longistyla	Sensibile all'ossigeno
Cladotanytarsus gr. mancus	Tollerante Substrati sabbiosi ai margini della vegetazione	Cladopelma gr. laccophila	Livelli trofici differenti Substrato limoso Sensibile all'ossigeno
Cladopelma viridulum	Livelli trofici differenti Substrati limosi Sensibile all'ossigeno	Procladius choreus	Tutti gli ambienti Acque stagnanti Zona potamale
Dicrotendipes gr. tritonus	Mesotrofia Sensibile all'inquinamento	Nais communis/variabilis	Tollerante Tutti gli ambienti Predilige substrati ghiaiosi
Polypedilum gr. nubeculosum	Tollerante Alta trofia	Potamothrix hammoniensis	Tollerante
Branchiura sowerbyi	Tollerante Ambienti lentic	Chaoborus flavicans	Tollerante
Limnodrilus hoffmeisteri	Tollerante Sedimenti fini	Caenis horaria	Acque lente Substrato limoso Vegetazione
Tubifex tubifex	Tutti i livelli trofici Tutti i tipi di substrati	Pisidium sp.	Sedimento fine Acque limpide
Ecnomus tenellus	Acque ferme e stagnanti	Valvata piscinalis	Acque stagnanti Vegetazione
		Dugesia tigrina	Acque correnti

Si è quindi analizzata l'autoecologia delle specie considerate che presentano esigenze ecologiche differenti (Tab. 5.2). Le fasce litorali e sub-litorali più impattate risultano così caratterizzate dalla sola presenza di specie tolleranti e legate ad ambienti con acque ferme e di livello trofico medio-alto, mentre le specie legate agli ambienti più naturali sono legate alla presenza di vegetazione per chiudere i loro cicli biologici o per attività predatoria, quindi ai sedimenti fini che la vegetazione richiede per sostenersi e trattiene con il suo apparato radicale, ma alcune sono anche sensibili alla quantità di ossigeno disciolto in acqua e quindi proprio le zone litorali, grazie all'azione delle onde riescono a mantenere alta la concentrazione durante tutto l'anno. Un caso a sé è costituito dalla presenza di *Chaoborus flavicans* e *Potamothrix hammoniensis*, più tolleranti, indicatrici che lo stato ecologico dei laghi in cui sono presenti è comunque soggetto a delle variazioni nel corso dell'anno, soprattutto nel Lago di Candia, dove la bassa profondità e le elevate temperature raggiunte durante il periodo estivo, possono instaurare fenomeni di ipossia, anche di breve durata.

Nella seconda CCA (Fig. 5.2), il test di Monte Carlo ha evidenziato solo l'LHQA come significativo (499 permutazioni,  $p < 0,05$ ). La CCA è applicata all'abbondanza delle specie, ad alcune metriche basate sulla composizione biologica e agli indici idro-morfologici, entrambi gli assi spiegano il 38% della varianza totale. In particolare, l'asse 1 spiega il 21% della varianza totale, ed è legato positivamente agli indici di ricchezza e di equitabilità, e negativamente con l'indice di Simpson, che infatti si comporta in maniera opposta rispetto agli altri, ovvero diminuisce con l'aumentare della diversità. Si nota quindi che i laghi naturali (nella parte bassa del grafico) presentano una diversità e una ricchezza maggiore rispetto agli invasivi (nella parte alta del grafico). In particolare, il Lago Sos Canales risulta essere il meno ricco (presenta infatti una comunità dominata da una sola specie), al contrario il Lago di Viverone, pur essendo antropizzato, presenta la diversità maggiore perché possiede un maggior numero di siti di campionamento e di *habitat*. Da notare che il Lago Morasco, pur essendo un invaso, è comunque legato ad indici di diversità abbastanza elevati, infatti presenta una fauna molto simile a quella di laghi naturali d'alta quota (Füreder et al. 2006). L'asse 2 invece, spiega il 17% della varianza totale, ed è strettamente legato all'LHQA. I laghi naturali presentano valori di LHQA maggiori, legati alla presenza e alla qualità degli *habitat*. Da questo si deduce che le tipologie lacustri naturali hanno una qualità di *habitat* maggiore rispetto agli invasivi, nonostante alcuni di essi presentino solamente il muraglione della diga come pressione.

Fra gli Indici idro-morfologici, sembra che il *Lake Habitat Quality Assessment* sia maggiormente correlato alle metriche legate alla fauna a macroinvertebrati, rispetto al *Lake Habitat Modification Score*, che sembra avere una scarsa correlazione rispetto alle medesime metriche. Questo fatto risulta particolarmente importante qualora nel prossimo futuro si voglia mettere a punto un Indice per i macroinvertebrati, che consideri gli aspetti idro-morfologici dei laghi.

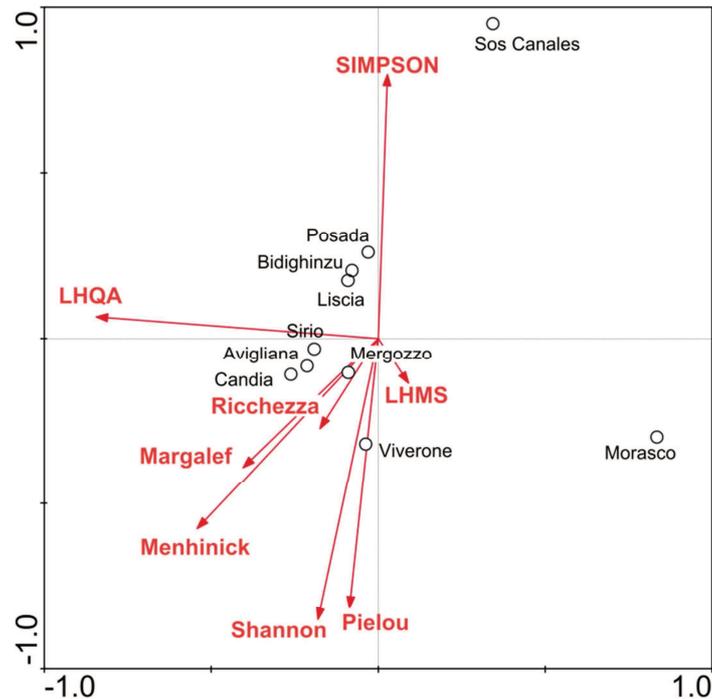


Fig. 5.2 – Ordinamento delle stazioni di campionamento lungo i primi due assi della CCA. Sono stati riportati solamente i laghi e gli indici utilizzati, omettendo la distribuzione delle specie.

Infine, il test di Monte Carlo applicato nel caso dell'ultima CCA (Fig. 5.3), ha evidenziato nuovamente l'LHQA come unica variabile significativa. Tale CCA che prevedeva l'uso degli Indici Bentonico, di Qualità degli habitat e di modificazione delle sponde, ha varianza spiegata dai primi due assi pari al 88%. In questo caso, si nota che all'aumentare dei primi due il BQIES tende a diminuire. Inoltre, il Lago di Viverone è correlato all'indice LHQA, che descrive la qualità degli habitat. Questo può essere corretto, in quanto il Lago di Viverone, avendo maggiori dimensioni presenta un maggior numero di habitat naturali e di punti di campionamento, che danno maggior peso al lago stesso.

L'Indice LHMS invece descrive la quantità di alterazioni morfologiche a livello della sponda. Ad esso è correlato il L. di Candia, che è circondato da aree coltivate ed è quindi molto impattato dal punto di vista della naturalità delle sponde. Al contrario, il Lago di Mergozzo, insieme al Lago Sirio e a quello di Avigliana piccolo, sono i più naturali, ossia presentano una percentuale di habitat naturali maggiore rispetto a quelli impattati.

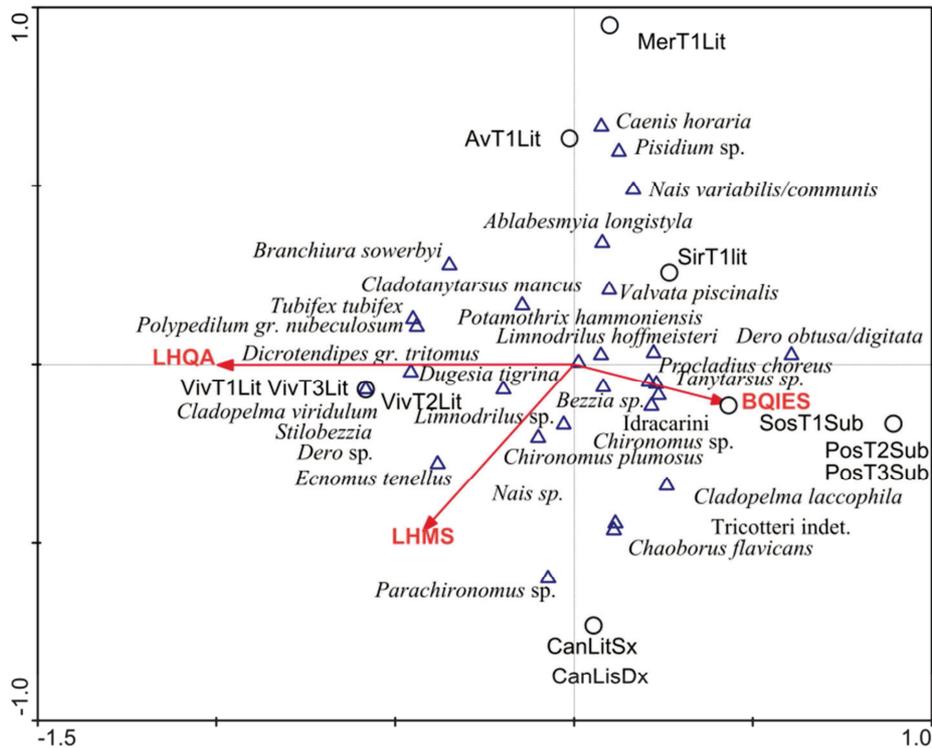


Fig. 5.3 – Ordinamento delle stazioni di campionamento lungo i primi due assi della CCA (abbondanze delle specie, indici idromorfologici e biotico).

Va detto infine che, l'indice BQIES è stato creato per evidenziare pressioni trofiche, è infatti legato alla concentrazione di fosforo totale, all'ossigeno disciolto e alla trasparenza delle acque, è quindi normale che evidenzi una correlazione negativa con l'Indice LHQA, maggiormente legato ad habitat naturali, che non dovrebbero quindi evidenziare o essere soggetti a pressioni trofiche. Infine, resta ancora da valutare quanta parte degli Indici LHQA e LHMS includa informazioni legate alla trofia e quanto peso abbiano nei rispettivi indici che possano spiegare una così stretta relazione con l'Indice BQIES.

Al momento i dati a disposizione non sono comunque sufficienti per un'analisi completa e approfondita. Si attende quindi di poter sviluppare gli stessi approcci statistici su un numero maggiore di laghi e di siti corrispondenti agli *Habplots* dell'LHS, includendo nell'analisi anche i laghi oggetto di monitoraggio nazionale, ed ottenere risultati più robusti.

## 5.2 Pesci

L'approccio utilizzato per verificare le relazioni tra caratteristiche di habitat e caratteristiche della fauna ittica è stato quello di utilizzare degli indicatori aspecifici quali il numero di specie (numspe), il numero di individui totali per punto di campionamento (NPUE), il peso medio e la lunghezza degli individui (Pmed e Lmed) e la biomassa per punto di campionamento (BPUE) sia per le reti (R) che per l'elettropesca (E) e di porli in relazione attraverso RDA con le variabili ambientali.

In aggiunta ai parametri del LHS, sono state utilizzate alcune variabili relative allo stato trofico che nelle analisi preliminari precedenti, si era dimostrato maggiormente correlato alle informazioni sulla fauna ittica. In questo modo è stato possibile verificare quanto entrambi i fattori di pressione possano essere correlati sia tra loro che con le caratteristiche della fauna ittica emerse dal campionamento con reti multimaglia ed elettropesca. I presenti risultati vanno dunque ad integrare e completare quanto già anticipato nei precedenti deliverables.

In prima istanza le analisi sono state condotte utilizzando tutti i parametri e includendo successivamente solamente le principali variabili di stato trofico e gli indici LHMS e LHQA.

### 5.2.1 Reti multimaglia

Le analisi effettuate attraverso RDA (Fig. 5.4) mettono in luce la generale buona relazione tra caratteristiche di abbondanza della fauna ittica e le variabili trofiche e la relazione in generale poco significativa tra le caratteristiche della fauna ittica e le variabili idromorfologiche.

Il primo asse della RDA spiega circa il 60% della varianza e con il secondo si arriva a quasi al 90%. Si vede chiaramente che alla produttività del sistema sono associate la biomassa per unità di sforzo (BPUER) e le dimensioni dei pesci (espressi sia dal peso medio PmedR e dalla lunghezza media LmedR degli individui) più di quanto facciano le caratteristiche idromorfologiche. La relazione molto significativa tra NPUER e la % di ossigeno alla saturazione è fortemente viziata dal fatto che pesano molto i dati di un solo lago (Lago di Morasco) in cui sono state catturati all'incirca 6000 individui di una sola specie (sanguinerola *Phoxinus phoxinus*). Si ritiene questo risultato pertanto poco significativo. Di fatto l'unica variabile significativa dopo il test di Monte Carlo (499 permutazioni) è l'NH4.

Le variabili idromorfologiche non sembrano essere particolarmente importanti rispetto alle caratteristiche della fauna ittica, sia come singolo parametro che come valori degli indici LHQA e LHMS. La sola variabile associata in misura significativa è HAB\_Inte, che peraltro riflette l'utilizzo del territorio e si correla molto bene alle variabili di stato trofico. Tra due diversi indici idromorfologici LHMS e LHQA, il secondo è quello che meglio si associa ad almeno una delle caratteristiche della fauna ittica, ossia al peso medio degli individui catturati nelle reti (PmedR). Tuttavia, comunque, non risulta significativo all'analisi statistica.

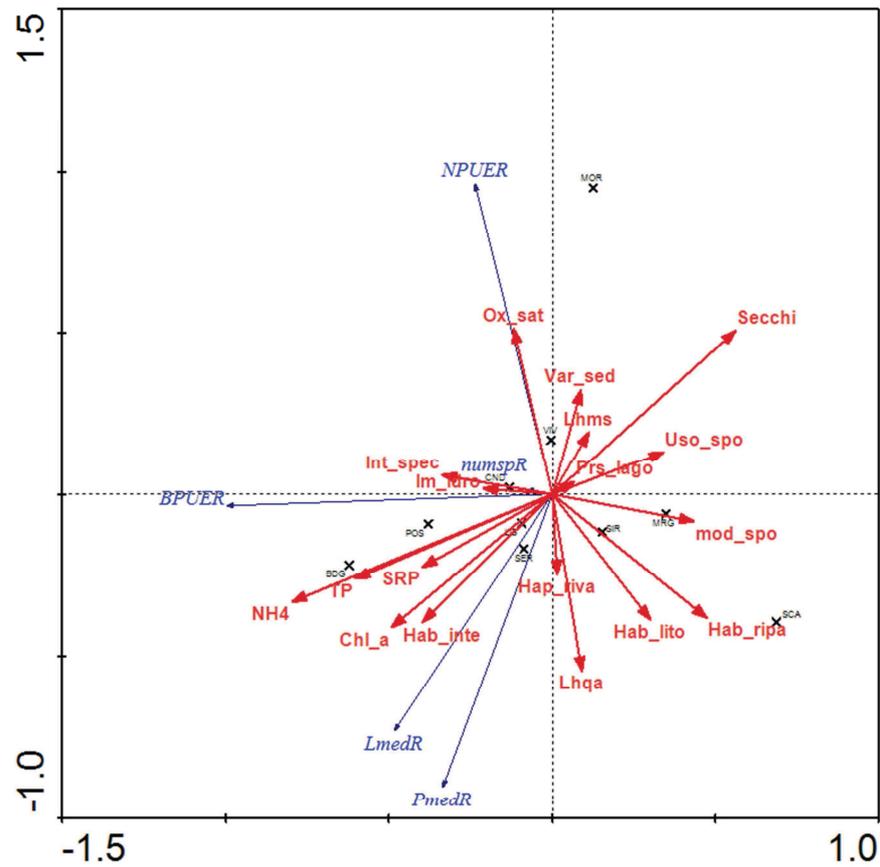


Fig. 5.4. RDA tra le principali caratteristiche della fauna ittica catturata con le reti e le variabili trofiche ed ambientali.

Riducendo il numero di variabili, come si vede dalla figura 5.5, le relazioni tra variabili trofiche, idromorfologiche e caratteristiche della fauna ittica appaiono ancora più chiare. L'asse 1 spiega da solo circa il 90% della varianza complessiva ed il peso delle variabili trofiche è molto elevato. Tra le diverse variabili la clorofilla Ch1a è l'unica variabile significativa.

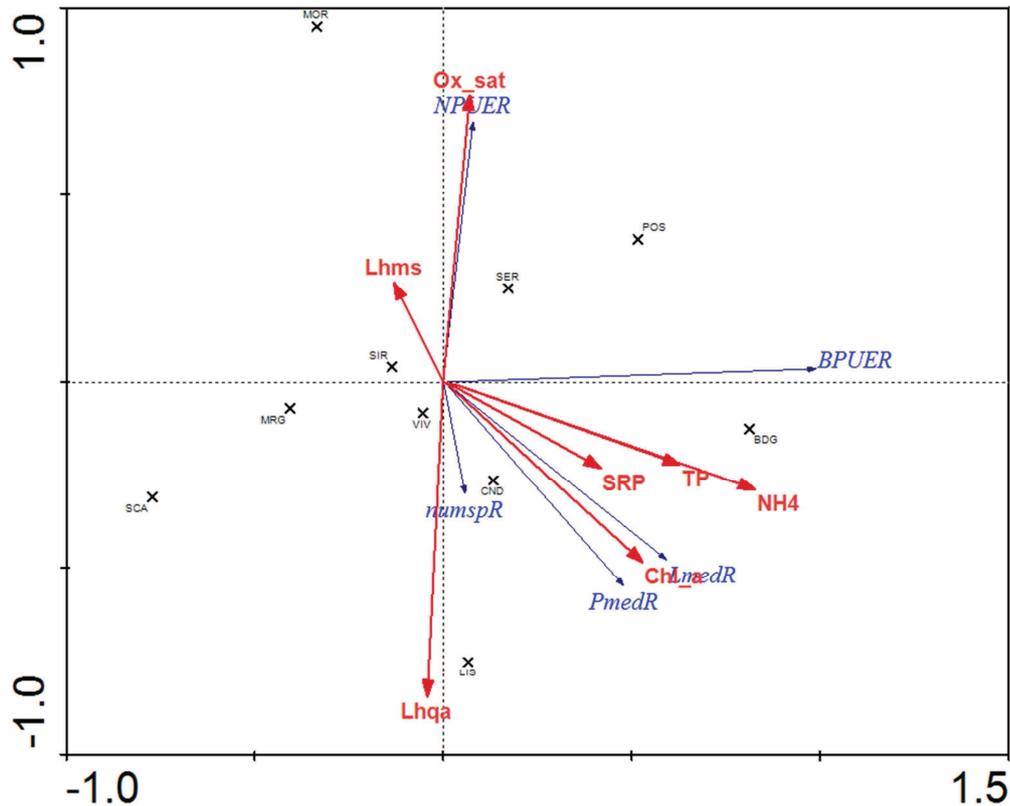


Fig. 5.5. RDA tra le principali caratteristiche della fauna ittica catturata con le reti e le variabili trofiche ed ambientali ridotte di numero.

### 5.2.2 Elettropesca

I risultati dell'analisi dei dati di elettropesca (Fig. 5.6) non si discostano molto da quanto verificato per le reti multimaglia. Le variabili trofiche spiegano bene la maggior parte delle caratteristiche della fauna ittica e la varianza spiegata dal primo asse è pari all' 85%.

Interessante notare tuttavia che il NPUEE (il numero per unità di sforzo) mostra una certa vicinanza alle variabili legate alla qualità idromorfologica ed in particolare alla diversità di habitat litorale e di riva. Ciò potrebbe essere spiegabile dal fatto che più è elevato il numero di rifugi lungo il litorale maggiore è la probabilità di catturare i pesci con l'elettropesca che viene effettuata da imbarcazione avvicinandosi dal largo verso riva. I pesci, scappando all'arrivo dell'imbarcazione si nascondono lungo il litorale (e vengono catturati) solo se vi sono ostacoli/rifugi presenti in cui nascondersi. Si può quindi ragionevolmente pensare che più un habitat è ricco di rifugi più è elevato il valore di NPUEE. Questo risultato conferma e rafforza quanto già trovato nelle precedenti indagini e mette in luce che l'elettropesca lungo la zona litorale potrebbe essere un buon metodo di campionamento per evidenziare relazioni tra caratteristiche della fauna ittica e caratteristiche idromorfologiche.

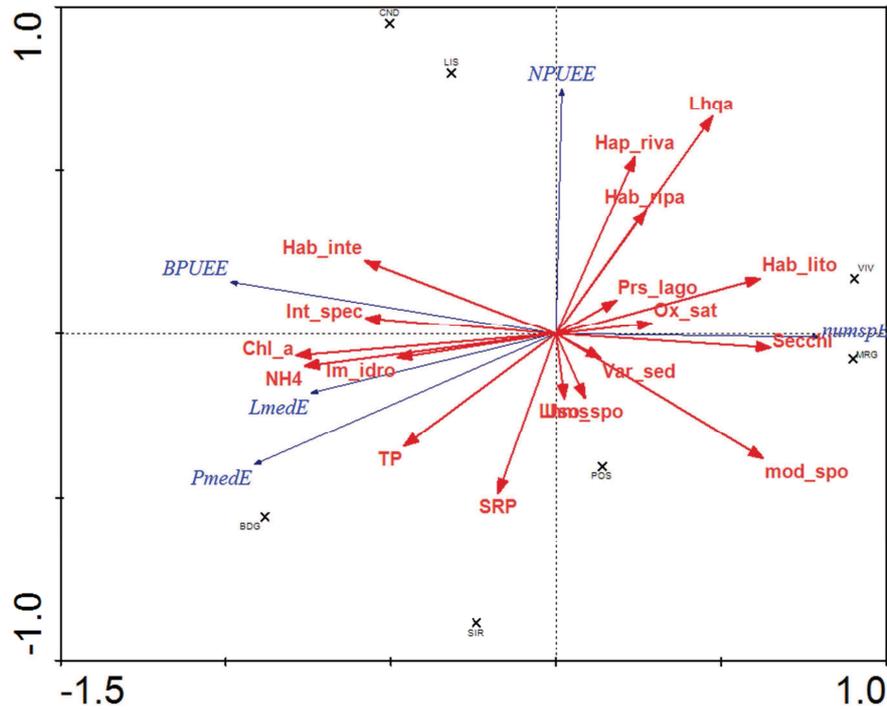


Fig. 5.6. RDA tra le principali caratteristiche della fauna ittica catturata con l'elettropesca e le variabili trofiche ed ambientali.

Eliminando le variabili secondarie, quanto detto sopra si evidenzia in modo ancora più chiaro nella figura 5.7.

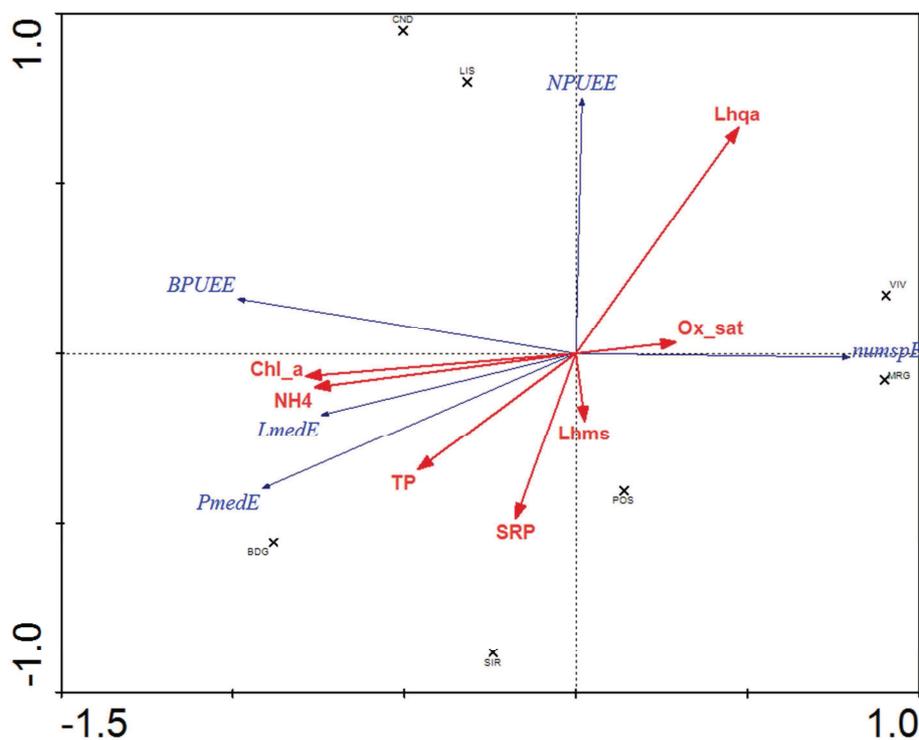


Fig. 5.7. RDA tra le principali caratteristiche della fauna ittica catturata con le reti e le variabili trofiche ed ambientali ridotte di numero.

## BIBLIOGRAFIA

Arpa Piemonte 2012. Il Clima in Piemonte nel 2011. [www.arpa.piemonte.it/news/come-stato-il-clima-in-piemonte-nel-2011](http://www.arpa.piemonte.it/news/come-stato-il-clima-in-piemonte-nel-2011)

ARPA Piemonte. 2010. Clima e indicatori climatici del Piemonte <http://rsaonline.arpa.piemonte.it/meteoclima50/index.htm>

ARPAS - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA - Dipartimento Specialistico Regionale IdroMeteoClimatico. Dicembre 2010. Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna. Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2009 - settembre 2010. <http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/riepiloghimensili/mensili.asp>

Bazzanti, M., A. Boggero, V. Lencioni, L. Mastrantuono, B. Rossaro & A. Solimini. 2007. Protocollo di campionamento e analisi dei macroinvertebrati negli ambienti lacustri. MATTM-APAT, Roma: 16 pp.

Boggero, A., S. Zaupa, B. Rossaro, V. Lencioni & F. Gherardi. 2011. Guida tecnica alla programmazione del campionamento e alla scelta della strumentazione idonea per lo studio della fauna macroinvertebrata lacustre. CNR-ISE Report, 02.11: 58 pp.

Cagnazzi B., G. Paesano, C. De Luigi, C. Ronchi, E. Turrone. 2011. Rapporto sullo stato dell'Ambiente in Piemonte 2011. Componenti ambientali: Clima. ARPA Piemonte. Conversa. Torino

Cagnazzi B., R. Cremonini, C. De Luigi, N. Loglisci, G. Paesano, C. Ronchi, R. Pelosini, S. Poncino, A. Bari, M.R. 2007. Il Piemonte nel Cambiamento Climatico, osservazioni passate, impatti presenti e strategie future. ARPA Piemonte. Ages Arti Grafiche s.p.a., Torino.

Cardoso, A.C. and G. Free. 2008. Incorporating invasive alien species into ecological assessment in the context of Water Framework Directive. *Acquatic Invasions*. 3 (4): 361-366.

Celesti-Grapow L., Pretto F., Brundu G., Carli E. and Blasi C. 2009. Plant invasion in Italy - an overview. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Protezione della Natura. Palombi & Partner Srl, Roma.

Chessa P.A., A. Delitalia. 1997. Il clima della Sardegna. Sassari : Chiarella - 197 pp.

Ciampittiello, M., C. Dresti & H. Saidi .2012. Indagini sul bacino imbrifero. Caratteristiche idrologiche - Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2011. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere(Ed.).

Ciampittiello, M., C. Dresti & H. Saidi 2011. Indagini sul bacino imbrifero. Caratteristiche idrologiche - Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma

quinquennale 2008-2012. Campagna 2010. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere(Ed.).

Ciampittiello M., A. Marchetto, A. Oggioni, A. Boggero, G. Morabito, P. Volta, N. Riccardi, P. Sala & S. Zaupa, 2010. Indicazioni generali e protocolli di campo per l'acquisizione di informazioni idromorfologiche e di habitat. Parte B: LAGHI. Deliverable progetto INHABIT.

Ciampittiello, M. 1999. I livelli del Lago Maggiore: una grande risorsa da gestire un problema da affrontare. Alberti Editore: 203 pp.

CIS, 2004. Overview of common Intercalibration types. Working Group 2.A, Ecological Status (ECOSTAT). Final version, 23 April 2004. 38 pp.

Critchfield, H.J., 1983. General Climatology, Prentice-Hall.

Dokulil, M.T. & Teubner, 2011. Eutrophication and Climate Change: Present Situation and Future Scenarios. In Ansari, A.A., S. Singh Gill, G.R. Lanza & W. Rast (eds), Eutrophication: causes, consequences and control, 1st Edition. Springer, Berlin :1-16.

European Commission. (2009) River basin management in a changing climate, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Guidance document No. 24, ISBN 978-92-79-14298-7, 2009.

Eklov, 1997. Effects of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distribution of perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox Lucius*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Volume : 54, Issue: 7, Pages: 1520-1531.

Emmrich, M., Brucet, S., Ritterbusch, D., Mehner., T., 2011. Size spectra of lake fish assemblages: responses along gradients of general environmental factors and intensity of lake-use. Freshwater Biology. Volume: 56, Issue: 11, Pages: 2316 - 2333.

Fiori, M., A. Delitala, G. Fois, S. Canu, I. Peana, P. Capece, P. Boi, G. Bianco. 2011. Analisi agrometeorologica e climatologica della Sardegna. Analisi delle condizioni meteorologiche e conseguenze sul territorio regionale nel periodo ottobre 2010 -settembre 2011. AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA. ARPAS. Dipartimento Specialistico Regionale IdroMeteClimatico, Servizio Idrometeorologico. <http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/riepiloghimensili/mensili.asp>

Friederichs, S.J., Zimmer, K.D., Herwig, B.R., Hanson, M.A., 2011. Total phosphorus and piscivore mass as drivers of food web characteristics in shallow lakes. OIKOS, Volume :120, Issue: 5, Pages: 756-765.

Füreder, L., R. Ettinger, A. Boggero, B. Thaler, H. Thies. 2006. Macroinvertebrate diversity in Alpine lakes: effects of altitude and catchment properties. Hydrobiologia, 562: 123-144.

ISO 5667-4. 1987. Water Quality: Sampling – Part 4: Guidance on sampling from lakes, natural and man-made: 5 pp.

ISO 9391, 1993. Water quality. Sampling in deep waters for macro-invertebrates. Guidance on the use of colonization, qualitative and quantitative samplers. 13 pp.

ISO 5667-3. 1994. Water Quality: Sampling – Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples. 26 pp.

Lakes Intercalibration Expert. (non pubbl.). Draft Report from Macrophyte Group. Lakes Intercalibration Expert Workshop. Ispra (VA) 26-27 October 2006.

Malve, O., E. Jeppesen, M. Kernan, B. Goldsmith, H. Bennion, T. Huttula, H. Duel, V. Harezlak, E. Penning, J. Moe, N. Liukko, N. Kotamäki, A. Taskinen. 2012. Deliverable D5.2-6: Synthesis paper on options for lake management to improve ecological status – Resistance to climate change in focus. WISER Project, 47 pp. [www.wiser.eu](http://www.wiser.eu)

Martyn, D., 1992. *Climates of the world*, Elsevier.

Mennella, C. 1967 – *Il Clima d'Italia in generale. Vol I* – Editrice E.D.A.R.T., Napoli. Fratelli Conte Editori, S.p.A., Napoli.

Mercalli L. 2002. *Climatologia della Bassa Valle di Susa e dei Laghi di Avigliana* - Società Meteorologica Italiana, Torino - [www.nimbus.it](http://www.nimbus.it)

Morabito, G., A. Oggioni & M. Austoni. 2012. Resource ratio and human impact: how diatom assemblages in Lake Maggiore responded to oligotrophication and climatic variability. *Hydrobiologia*, DOI 10.1007/s10750-012-1094-0. Mori, A. – *Il clima in l'Italia fisica*. 1957. Touring Club Italiano, Milano. Pp. 23-63.

Oggioni A. F. Buzzi & R. Bolpagni (2011) Indici macrofitici per la valutazione della qualità ecologica dei laghi: MacroIMMI e MTIspecies. In: Marchetto, A., A. Lugliè, B.M. Padedda, M.A. Mariani, N. Sechi, N. Salmaso, G. Morabito, F. Buzzi, M. Simona, L. Garibaldi, A. Oggioni, R. Bolpagni, B. Rossaro, A. Boggero, V. Lencioni, L. Marziali, P. Volta & M. Ciampittiello. *Indici per la valutazione della qualità ecologica dei laghi*. Report CNR-ISE, 03.11: 52-82

Peana, I., M. Fiori, G. Fois, G. Bianco, S. Canu, M. G. Mattana, A. Fures. Dicembre 2011. *Analisi delle condizioni siccitose in Sardegna nel periodo maggio-novembre 2011*. AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELLA SARDEGNA. ARPAS. Dipartimento Specialistico Regionale Idrometeoclimatico, Servizio Idrometeoclimatico.

Perosino G.C. and e P. Zaccara. 2006. *Elementi climatici del Piemonte*. C.R.E.S.T. - Centro Ricerche in Ecologia e Scienze del Territorio (Torino).

Pignatti, S. 1982. *La Flora d'Italia*. (3 vol). Edagricole, Bologna.

Rossaro, B., A. Boggero, V. Lencioni & L. Marziali. 2011. *Indice per la valutazione della qualità ecologica dei laghi italiani basato sulla comunità bentonica*. In: CNR-ISE (Ed.), *Indici per la valutazione della qualità ecologica dei laghi*. CNR-ISE Report, 03.11: 83-100.

Rowan, J. S., J. Carwardine, R. W. Duck, O. M. Bragg, A. R. Black, M. E. J. Cutler, I. Soutar & P. J. Boon, 2006. Development of a technique for lake habitat survey (LHS) with applications for the European Union Water Framework Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16: 637-657

Tartari, G.A. & R. Mosello. 1997. Metodologie analitiche e controlli di qualità nel laboratorio chimico dell'Istituto Italiano di Idrobiologia. *Documenta Istituto italiano Idrobiologia*, 60: 160 pp.

Ter Braak, C.J.F. & P. Smilauer, 2002. *Canoco Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination Version 4.5*. Microcomputer Power, Ithaca, NY.

Sollazzo, C., G. Scanu, F. Aste, M. Belli, S. Balzamo, C. Martone, F. Cadoni, S. Bernabei, G. Tartari, E. Buraschi, D. Copetti, A. Marchetto, G. Morabito, A. Oggioni, A. Dal Miglio, F. Buzzi, S. Pozzi, L. Garibaldi, N. Salmaso & A. Lugliè, 2008. Protocollo per il campionamento dei parametri chimico-fisici a sostegno degli elementi biologici in ambiente lacustre, Ispra Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. *Metodi Biologici per le Acque parte I*:1-17.

Walter, H. and H. Lieth. 1960. *Klimadiagramm-Weltatlas*. G. Fisher Verlag, Jena.