SCENARI DI SPERIMENTAZIONE: **GRUPPO B** (applicati ai tratti d'alveo sottesi alle derivazioni idroelettriche)

Le figure 3.36-3.41 mostrano i livelli di qualità del fiume Oglio sublacuale definiti dall'indice LIM_{eco} per gli scenari di sperimentazione del gruppo B, confrontando le campagne di misura della stessa stagione derivanti dal primo e dal secondo anno di attività. Questa prima analisi sul deflusso minimo vitale, realizzata basandosi sull'indice di qualità, deve essere fatta confrontando le stazioni ai km 113, 114.5, 116, 122, 125 e 133 che sono quelle nei tratti sottesi alle centrali, in cui quindi è garantito lo scenario applicato; le altre stazioni sono quelle a monte degli sbarramenti delle centrali e sono utilizzate da riferimento. Lo stato di qualità del fiume rimane "ottimo" sia per la prima campagna estiva che per la seconda, senza notare differenze significative tra i due anni di campionamento. Analoga osservazione può essere fatta confrontando le campagne autunnali: lo stato di qualità del fiume rimane per entrambe le stagioni a livello 1. Per le campagne di misura invernali lo stato di qualità si attesta su valori ottimali per la quasi totalità dei valori, ad eccezione dello scenario 7,5% della campagna n°7/2011, durante la quale vengono registrati valori LIM_{eco} di stato "buono" e "scadente". Questo peggioramento dello stato di qualità dell'indice può essere dovuto all'elevate concentrazione di fosforo totale e azoto ammoniacale misurate durante il campionamento invernale. Mettendo a confronto le campagne primaverili non si registra una differenza significativa dello stato ecologico di qualità tra le due stagioni. Il valore LIM_{eco} annuale del secondo anno di attività indica di conseguenza uno stato elevato di qualità per tutti gli scenari di valori di portata applicati, confermando i risultati del primo anno (figure 3.40 e 3.41).

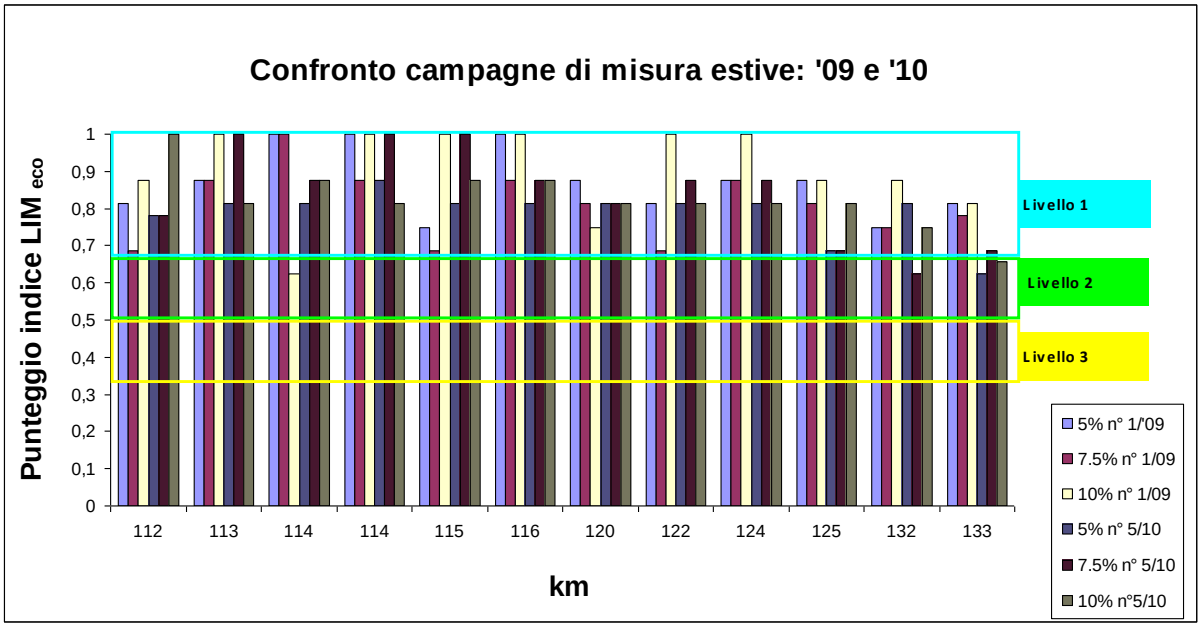


Figura 3.36. Punteggio dell'indice LIM_{eco} "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico" calcolato per le campagna di misura estiva n° 1/2009 e n°5/2010 sulle stazioni a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5% e 15% rispetto alla portata media naturale.

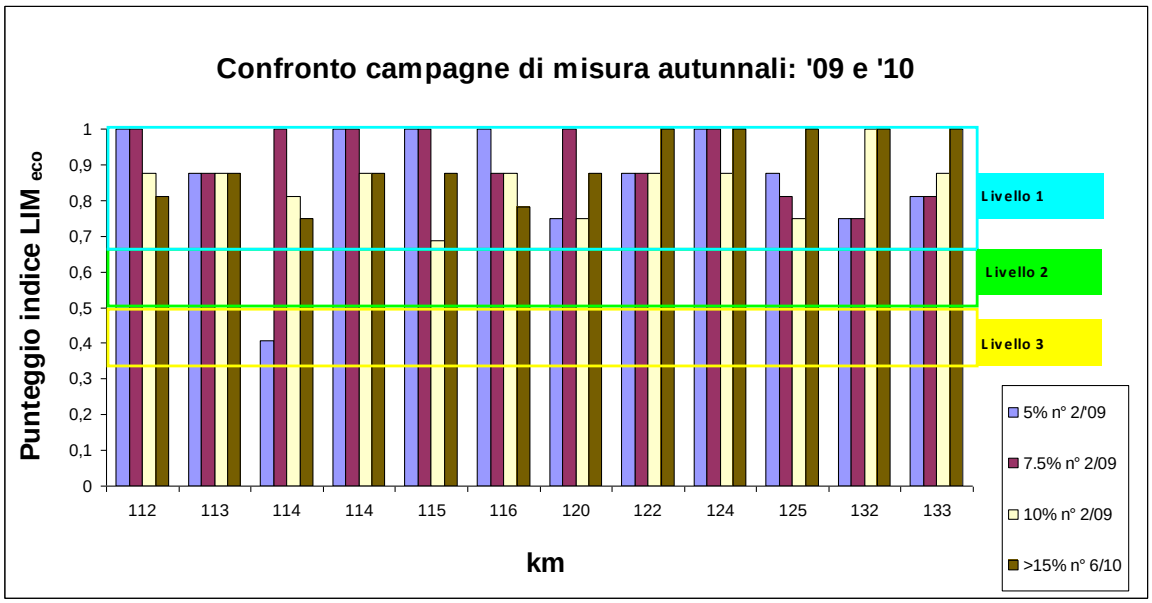


Figura 3.37. Punteggio dell'indice LIM_{eco} "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico" calcolato per le campagna di misura autunnali n° 2/2009 e n°6/2010 sulle stazioni a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5%, 10% e >15% rispetto alla portata media naturale.

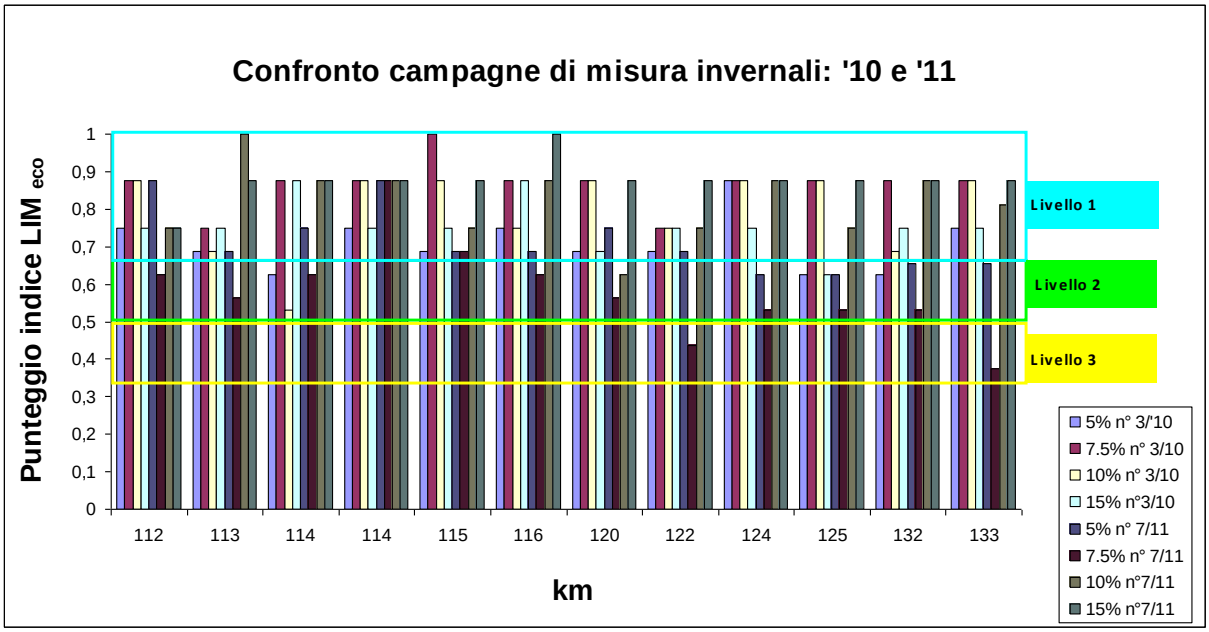


Figura 3.38. Punteggio dell'indice LIM_{eco} "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico" calcolato per le campagna di misura invernali n° 3/2010 e n°7/2011 sulle stazioni a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale.

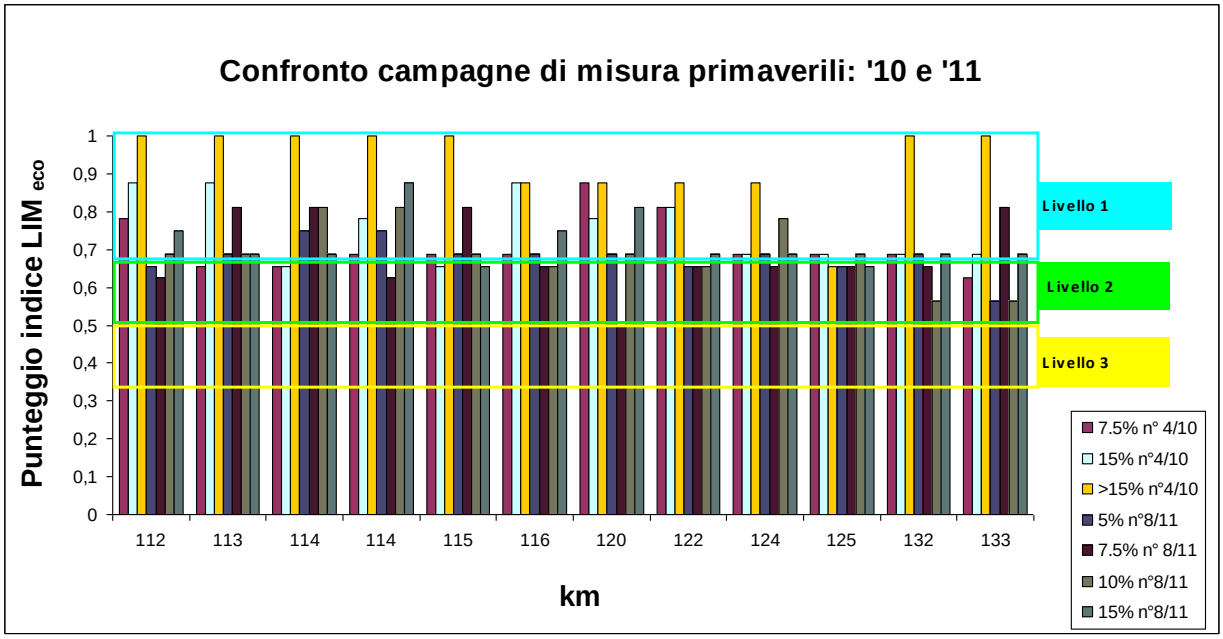


Figura 3.39. Punteggio dell'indice LIM_{eco} "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico" calcolato per le campagna di misura primaverili n° 4/2010 e n°8/2011 sulle stazioni a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5%, 10%, 15% e >15% rispetto alla portata media naturale.

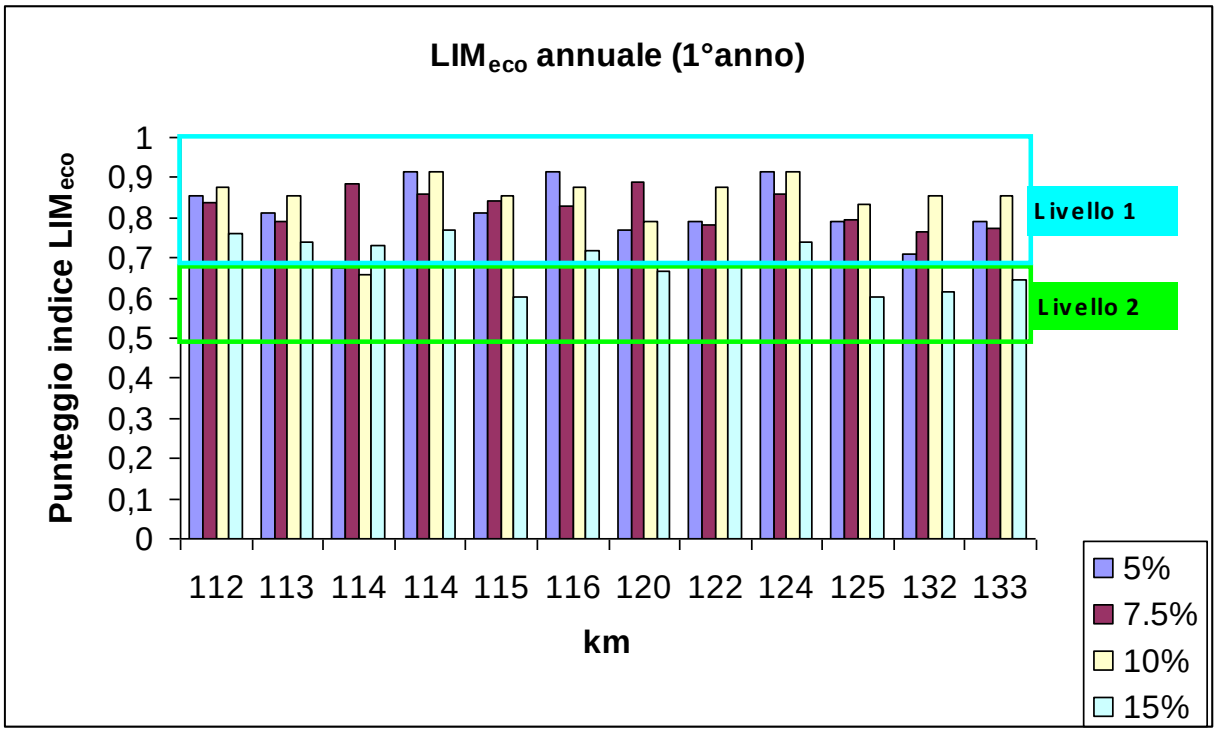


Figura 3.40. Punteggio dell'indice LIM_{eco} "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico" calcolato per il secondo anno di campionamento come media delle quattro stagioni: estate n°1/2009, autunno n° 2/2009, inverno n° 3/2010 e primavera n° 4/2010, sulle stazioni a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) di ognuna delle sei centrali.

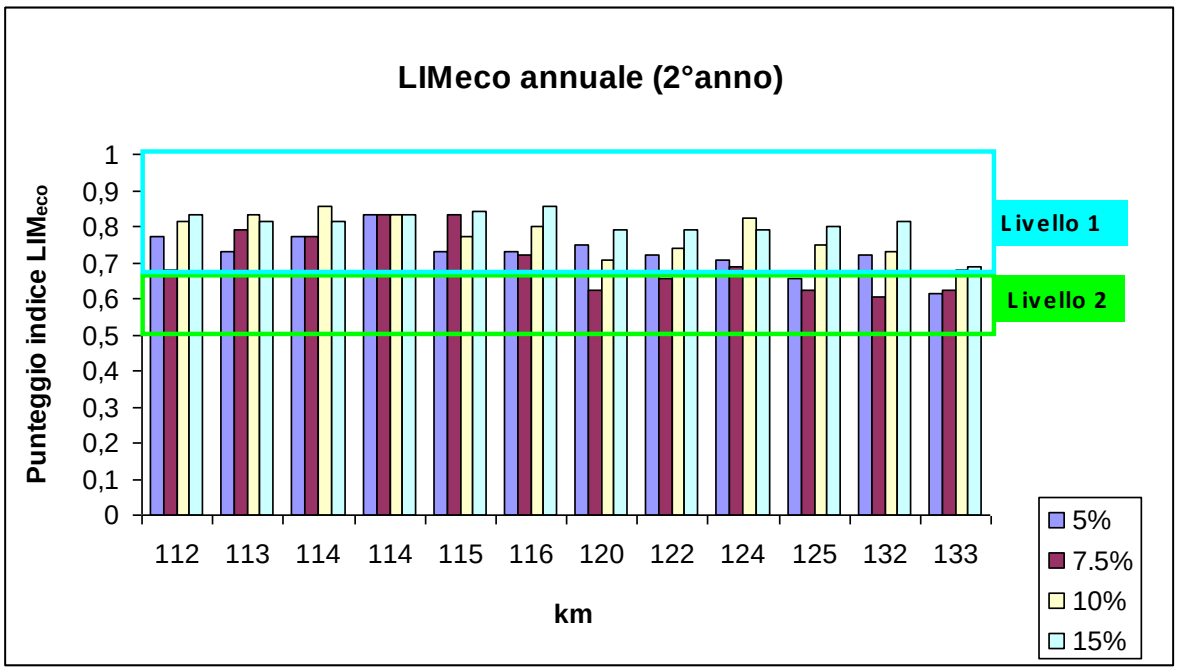


Figura 3.41. Punteggio dell'indice LIM_{eco} "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico" calcolato per il secondo anno di campionamento come media delle quattro stagioni: estate n°4/2010, autunno n° 5/2010, inverno n° 7/2011 e primavera n° 8/2011, sulle stazioni a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) di ognuna delle sei centrali.

Come per lo scenario di base, al fine di indagare l'esistenza di relazioni lineari tra i principali macrodescrittori ed i valori di portata misurati, nelle figure da 3.42 a 3.49 sono riportati gli andamenti dei parametri saturazione percentuale di ossigeno, azoto ammoniacale, azoto nitrico, fosforo totale, COD, clorofilla-a fitoplantonica, metano disciolto ed infine l'indice LIM_{eco} rispetto ai valori di portata indipendentemente dalla stagione di misura e considerando le stazioni sottese alle centrali idroelettriche, dove sono applicati i diversi scenari di sperimentazione (5%, 7.5%, 10% e 15%). Anche nel secondo anno di attività è capitato che alcune centrali idroelettriche, avendo impianti con bassa capacità di derivazione, non riuscissero a mantenere gli scenari stabiliti nei tratti sottesi e rilasciassero in fiume portate anche maggiori rispetto al 15% (tra ~7.5 e ~8.3 $m^3 s^{-1}$). Focalizzando l'attenzione sui deflussi minimi vitali studiati (5%: tra ~2.5 e ~2.8 $m^3 s^{-1}$, 7.5%: tra ~3.7 e ~4.2 $m^3 s^{-1}$, 10%: tra ~5.0 e ~5.6 $m^3 s^{-1}$, 15%: tra ~7.5 e ~8.3 $m^3 s^{-1}$), nessun parametro studiato risulta correlato in modo significativo con i valori di portata; nemmeno l'aggregazione dei macrodescrittori nell'indice LIM_{eco} genera una relazione significativa di quest'ultimo con i valori di portata misurati (figura 3.49).

Il confronto tra stazioni nel tratto bacinizzato e stazione nel rispettivo tratto sotteso (dati non riportati) ha evidenziato solamente come il metano disciolto sia in concentrazioni significativamente più elevate nei tratti bacinizzati rispetto a quelle prettamente fluviali. Questo risultato è stato interpretato alla luce di un accumulo di sedimento organico nei tratti a minore velocità dell'acqua.

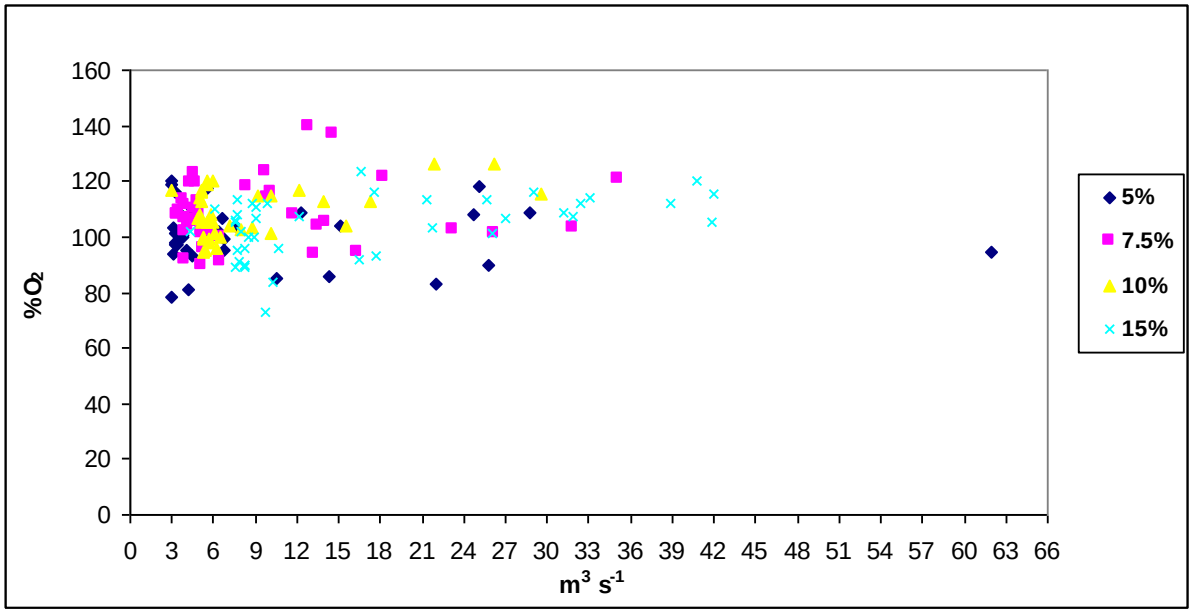


Figura 3.42. Percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

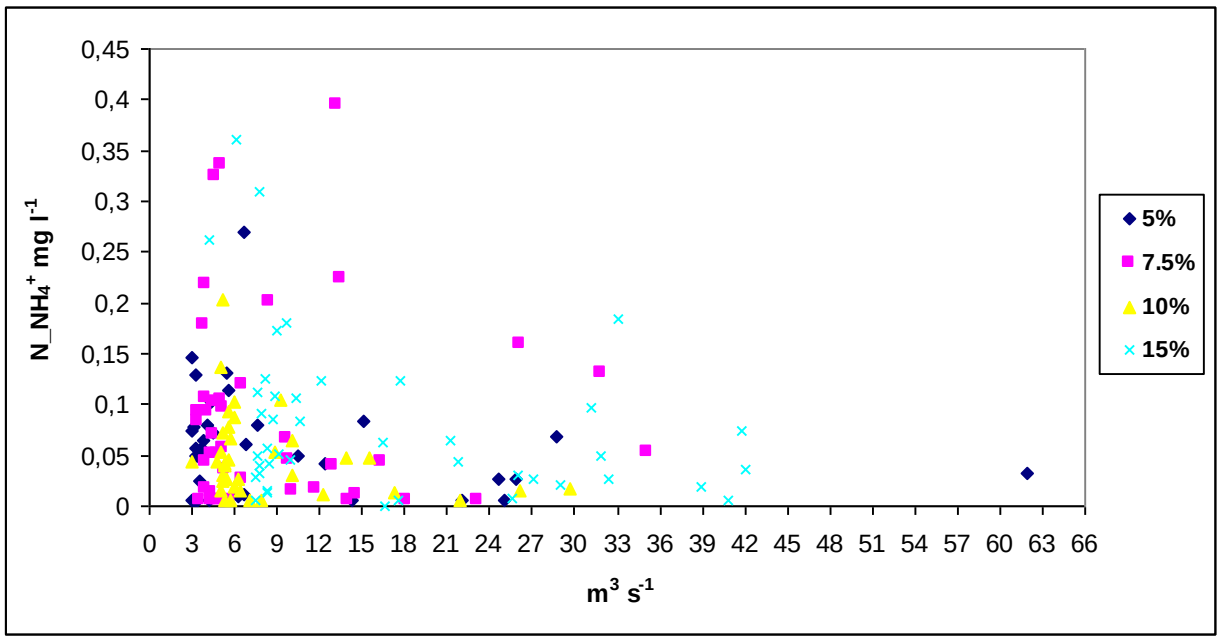


Figura 3.43. Concentrazione di azoto ammoniacale (mg l^{-1}) versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

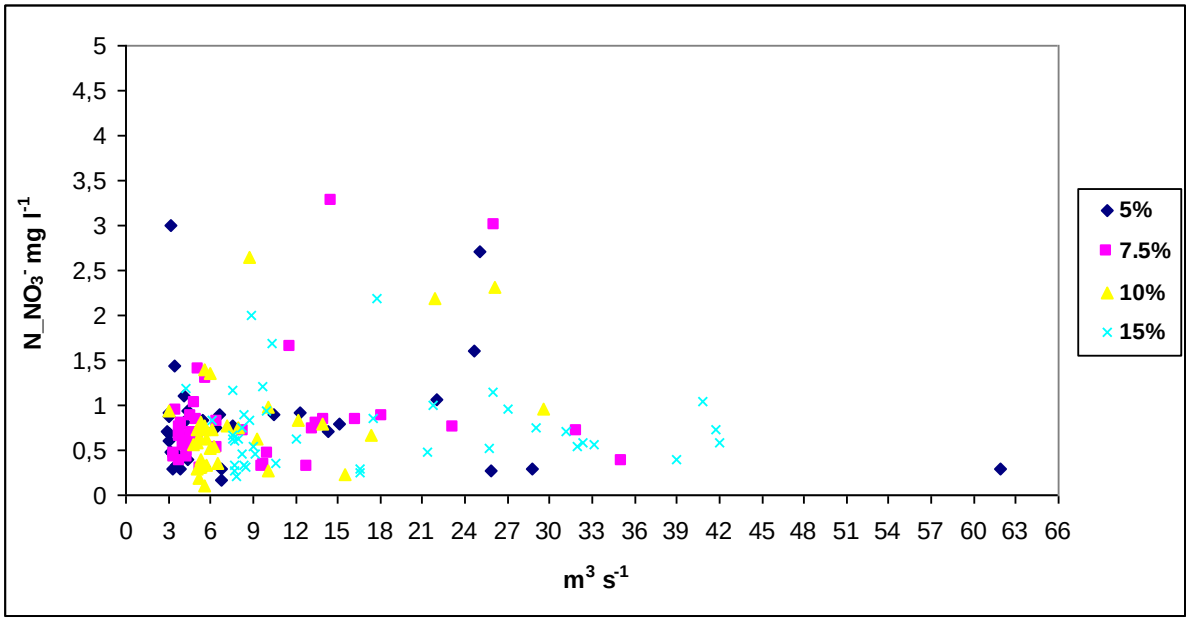


Figura 3.44. Concentrazione di azoto nitrico (mg l^{-1}) versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

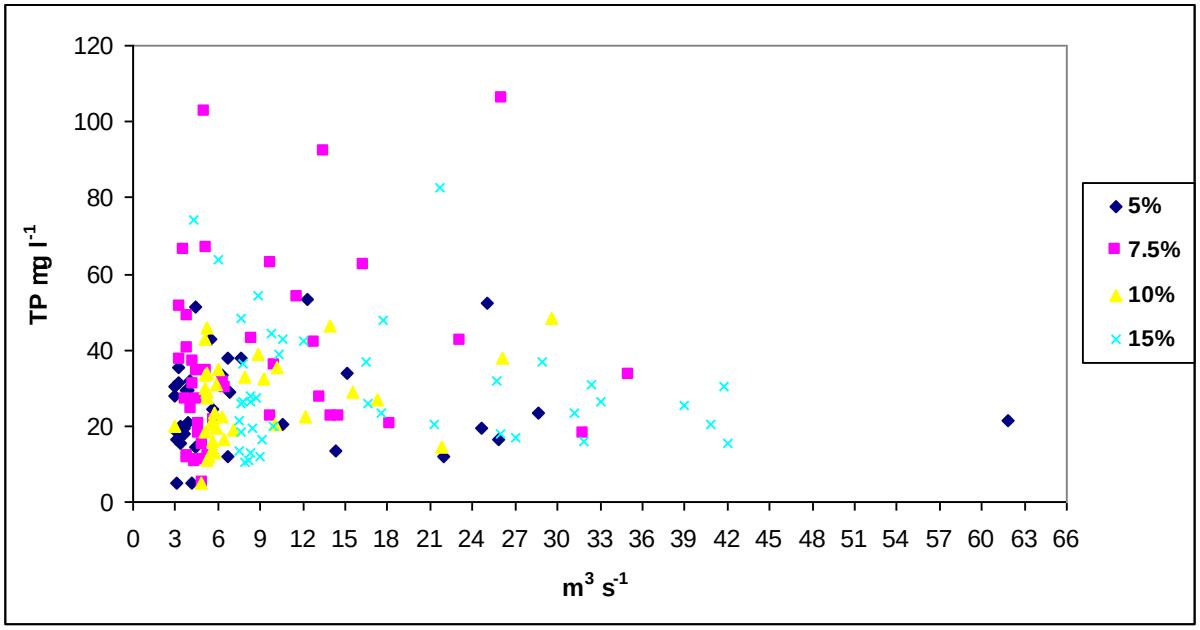


Figura 3.45. Concentrazione di fosforo totale (µg l^{-1}) versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

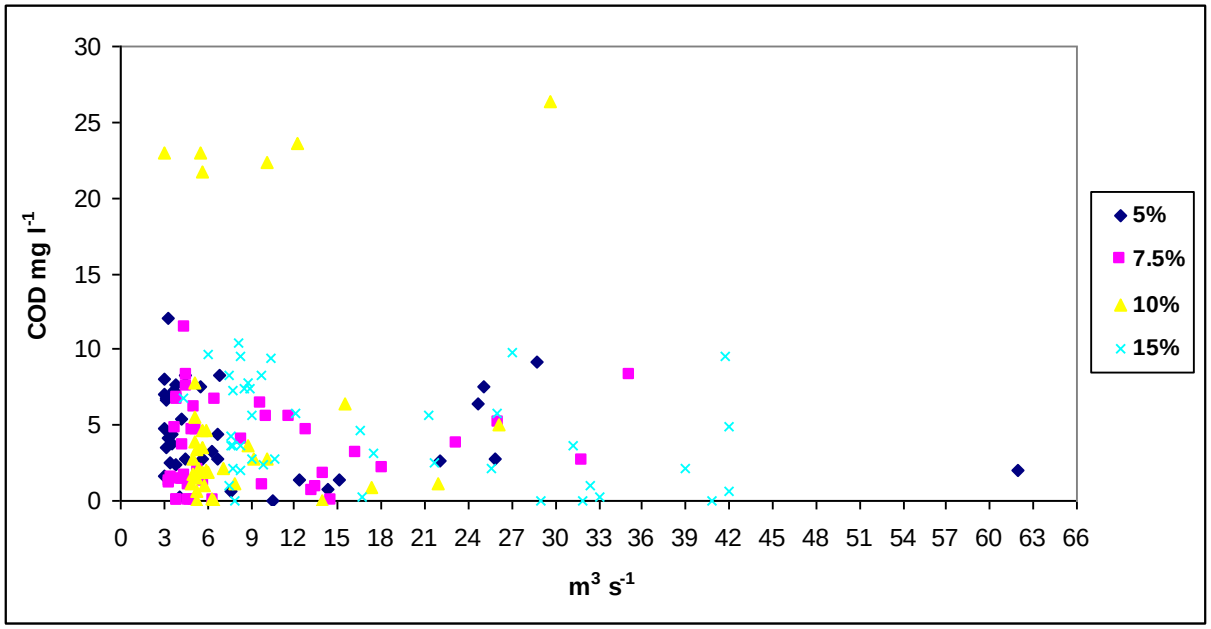


Figura 3.46. Sostanza organica ossidabile, COD (mg l^{-1}), versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

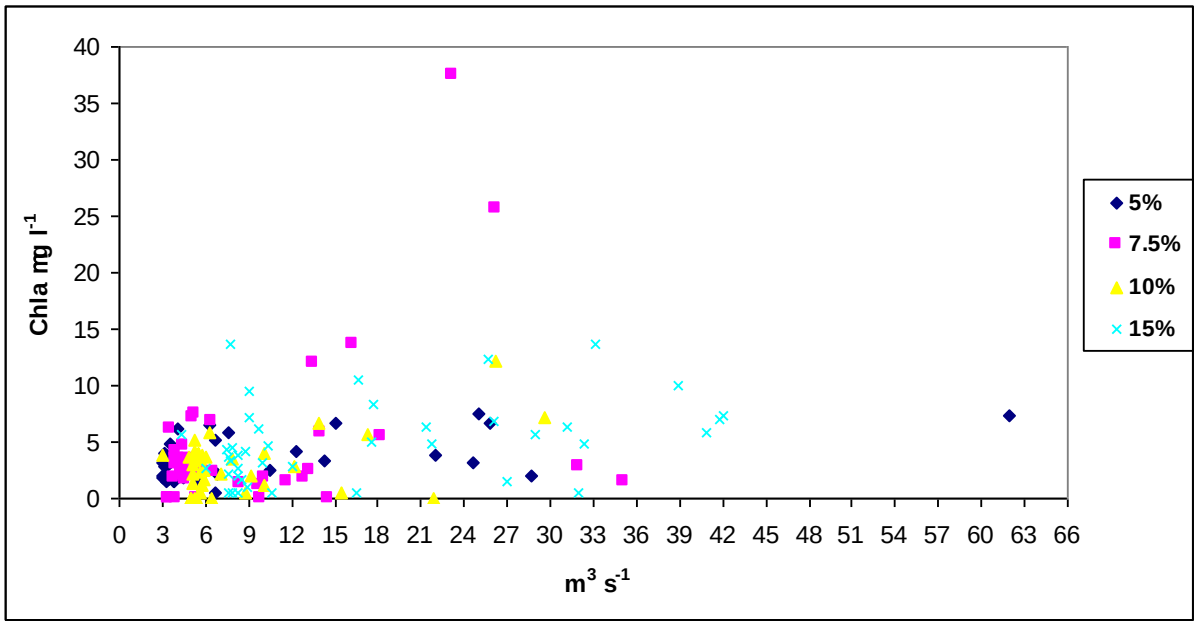


Figura 3.47. Concentrazione di clorofilla-a fitoplantonica (µg l^{-1}) versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

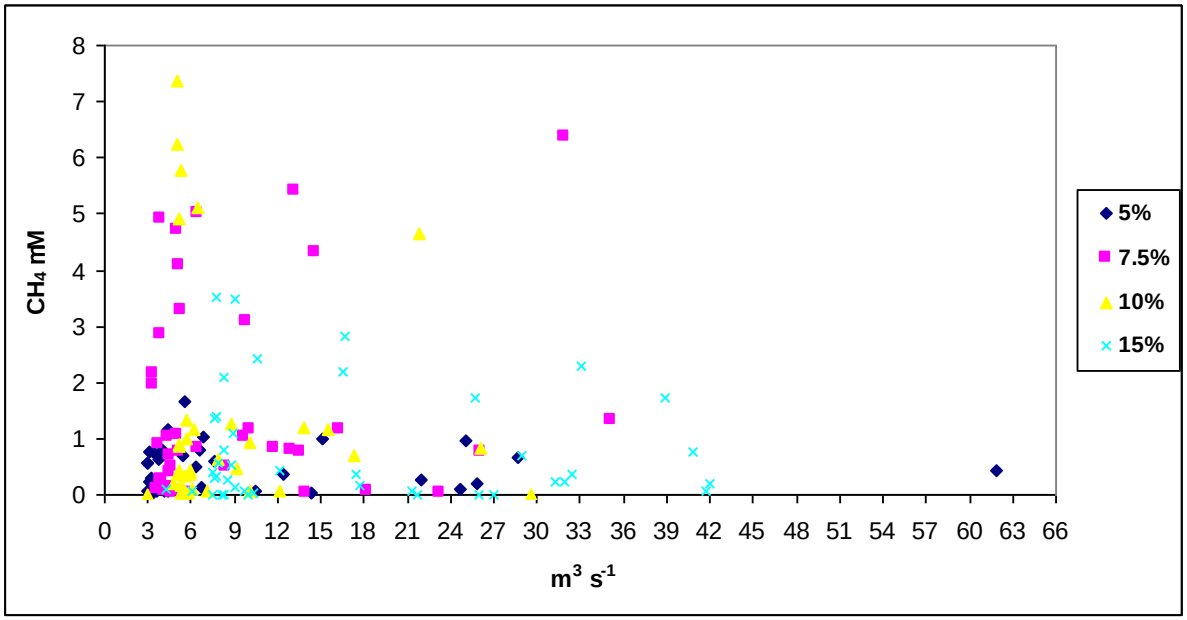


Figura 3.48. Concentrazione di metano disciolto (µM) versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

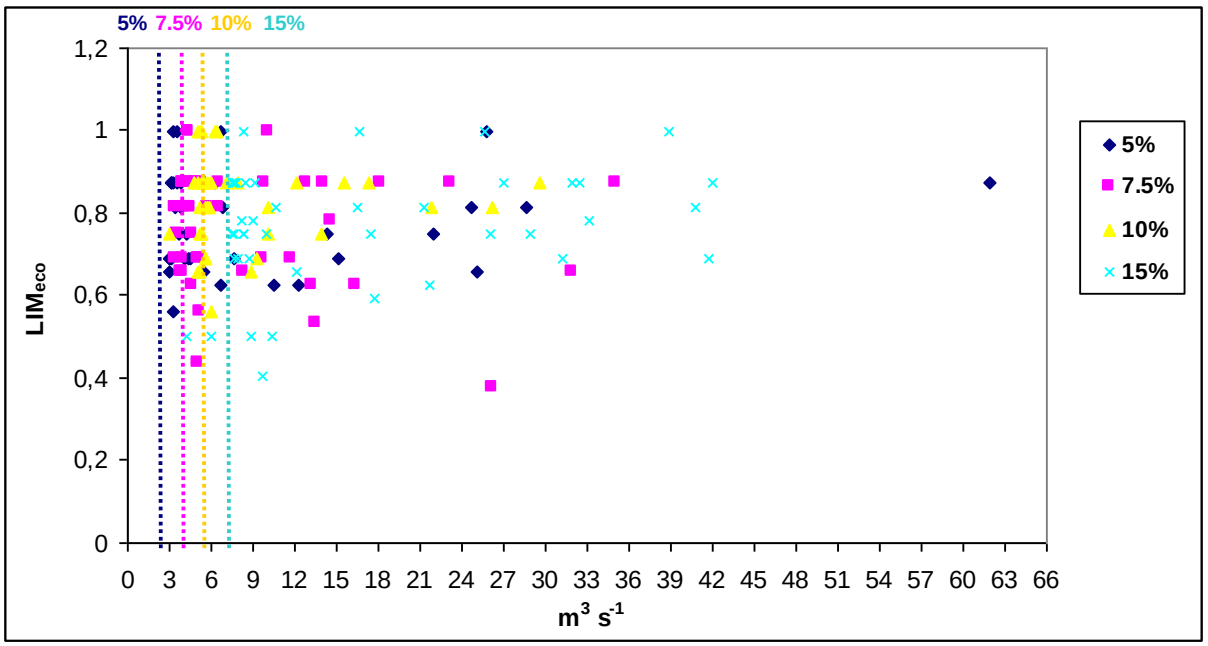


Figura 3.49. Punteggio indice LIM_{eco} versus valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle otto campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11 e n°8/11).

Analisi statistica

Per verificare se lo stato di qualità (LIM_{eco}) fosse significativamente differente in base agli scenari di sperimentazione è stata effettuata un'analisi della varianza a due fattori, includendo come fattore non solo lo scenario, ma anche la stagione (ANOVA, software R). Nonostante l'ANOVA dia risultati statisticamente significativi per quanto riguarda l'interazione dei due fattori scenario e stagione ($p<0.01$), l'applicazione dell'AIC (Akaike Information Criterion) indica che il modello in cui i fattori sono additivi e quindi senza interazione è quello che fitta meglio i dati analizzati (valore di AIC maggiore); in questo modello l'unico fattore significativo è la stagione e non lo scenario, indicando quindi che lo stato di qualità del fiume Oglio non dipende dagli scenari di sperimentazione studiati. Il l'AIC aiuta a testare la bontà del modello e quindi a identificare quale modello fitti meglio i dati a disposizione e quindi elimina i parametri (fattori) superflui all'analisi (tabella 3.5).

Tabella 3.5. Anova a due fattori sul dataset delle stazioni dei tratti sottesi raccolto durante il primo ed il secondo anno di sperimentazione e l'AIC (Akaike Information Criterion). Codici di significatività: * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001.

ANOVA a due fattori	LIM_{eco}			
	Gradi di libertà	F	Pr(>F)	Significatività
scenario	3	1,9881	0,11855	
stagione	3	8,8349	2,10E-02	***
scenario*stagione	9	2,6699	0,006858	**
	AIC			
LIMeco ~ scenario*stagione	-653,95			
LIMeco ~ scenario+stagione	-647,23			

3.2. Azione 3 - Monitoraggio MACROINVERTEBRATI

L'elenco completo dei taxa è riportato nelle tabelle I-IV in Allegato II ("Azione 3: monitoraggio biologico, macroinvertebrati").
Per il momento non è stato possibile fornire un giudizio di qualità dell'ecosistema fluviale tramite i macroinvertebrati perché il software Macroper, essendo ancora in fase di sviluppo, risulta disponibile solo per l'ente ARPA. Il DM n°260/2010 definisce di fatto l'indice Star_ICMi come ufficiale, ma allo stesso tempo non riporta nell'allegato A - appendice A - le metriche di riferimento per il calcolo dell'indice delle stazioni non guadabili del fiume Oglio sub lacuale. Nelle tabelle 3.6 e 3.7 sono riportate le parti delle tabelle dell' allegato A - appendice A - (DM n°260/2010) in cui dovrebbero essere specificati il tipo fluviale e i valori di riferimento per il fiume Oglio sublacuale. Dalle tabelle è possibile osservare come manchi la riga N_152 indicante probabilmente l'area reg. 06LO, Idroecoregione Pianura Padana, Classe di distanza dalla sorgente 75-150km-grande, codice tipo 06SS4, macrotipo C e quindi il mesohabitat Generico che sarebbe da utilizzare per i siti non guadabili del fiume Oglio sub lacuale.

Tabella 3.6. Frazione della tabella 1.a "Elenco dei tipi fluviali presenti in Italia settentrionale e inclusi nel sistema MacrOper" dell'allegato A-appendice A del DM n°260/2010.

ORD	Area reg.	Idroecoregione	Nome Idroecoregione	Classe di Distanza dalla Sorgente / Altro	cod. tipo	Macrotipo	note/sottotipo
N_146	06LO	06	Pianura Padana	0-5 km - molto piccolo	06SS1	C	
N_147	06LO	06	Pianura Padana	5-25 km - piccolo	06SS2	C	
N_148	06LO	06	Pianura Padana	25-75 km - medio	06SS3	C	
N_149	06LO	06	Pianura Padana	25-75 km - medio	06SS3	C	
N_150	06LO	06	Pianura Padana	75-150 km - grande	06SS4	C	
N_151	06LO	06	Pianura Padana	75-150 km - grande	06SS4	C	
N_153	06LO	06	Pianura Padana	< 10 km	06AS6	C	
N_154	06LO	06	Pianura Padana	< 10 km	06SR6	C	
N_155	06LO	06	Pianura Padana	Meandriforme, sinuoso o confinato	06IN7	C	
N_156	06LO	06	Pianura Padana	Meandriforme, sinuoso o confinato	06IN7	C	

Tabella 3.7. Frazione della tabella 1b. "Valori di riferimento per le metriche componenti e per lo STAR_ICMi nei tipi fluviali dell'Italia settentrionale inclusi nel sistema MacrOper" dell'allegato A-appendice A del DM n°260/2010.

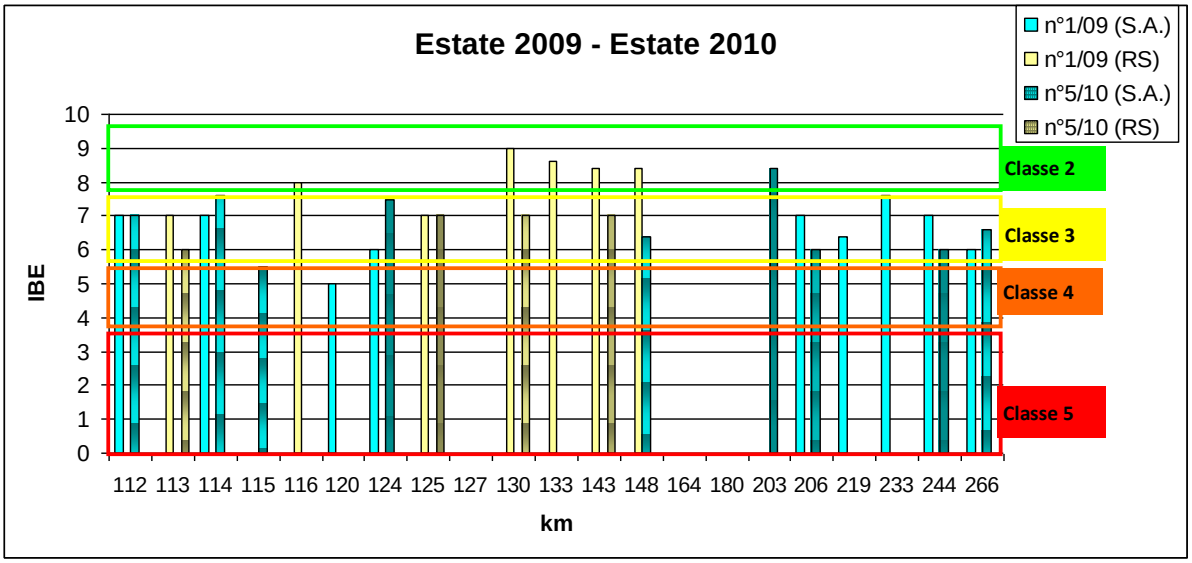
N_152?

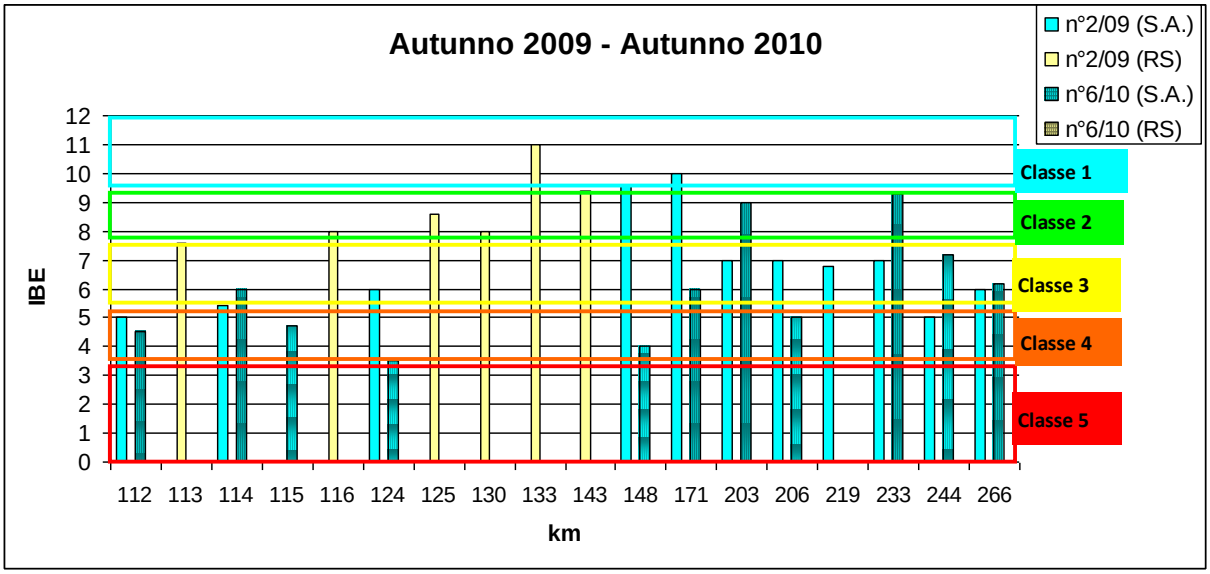
Generico?

ORD	Area regionale	mesohabitat	ASPT	N_Fam	N_EPT_Fam	I-GOLD	Diversità di Shannon	log(Sel_EPTD+1)	STAR_ICMi	Elevato/Buono	Buono/Sufficiente	Sufficiente/Scarso	Scarso/Cattivo	Tipo dati disponibili (D, G, I, ND)
N_150	06LO	Pool	6,170	25,50	12,50	0,827	2,228	1,664	1,029	0,96	0,72	0,48	0,24	I
N_151	06LO	Riffle	6,120	22,75	10,25	0,749	2,222	1,744	0,989	0,96	0,72	0,48	0,24	I
N_153	06LO	Generico	5,751	29,75	11,50	0,855	1,804	2,044	0,991	0,96	0,72	0,48	0,24	D

Come per i risultati del primo anno di attività, anche per quelli delle campagne di misura del secondo anno è stato applicato il metodo di calcolo dell'indice IBE al fine di dare delle indicazioni di qualità dei siti campionati attraverso l'elemento biologico dei macroinvertebrati.
La figura 3.50 mostra il confronto dei valori IBE stagionali ovvero delle campagne di misura estive n°1/2009-n°5/2010, autunnali n°2/2009-n°6/2010 e invernali n°3/2010-n°7/2011. Le metodiche di campionamento sono indicate dai diversi colori delle barre (RS retino surber, S.A. substrati artificiali).
Rispetto all'estate 2009, il valore IBE della stagione estiva 2010 indica un peggioramento dello stato di qualità del sistema nelle stazioni dal km 130 (Pontoglio) al km 164 (Castelvisconti): da un ambiente con moderati sintomi di alterazione (classe 2) il sistema diviene di classe 3 indicando un ambiente alterato; questo shift di stato di qualità è probabilmente dovuto ad una impoverimento della comunità macrobentonica ed essenzialmente ad un minore numero di famiglie di tricotteri, nonostante la presenza di taxa sensibili alle alterazioni (ad esempio, *Ecdyonurus*). Nelle stazioni del tratto sud lo stato di qualità rimane invariato rispetto all'estate 2009 eccetto che per la stazione presente al km 203 (Binanuova). Anche la stagione autunnale 2010 mostra un peggioramento di qualità nel tratto iniziale del fiume Oglio; i valori IBE ricadono in classe 4 ad indicare un ambiente molto alterato fino al km 124. Purtroppo non sono stati recuperati i substrati artificiali per le stazioni caratterizzanti il tratto dal km 125 al km 143 per cui non si hanno indicazioni sulla qualità del sistema fluviale nel tratto di alta-media pianura del fiume Oglio. Dal km 148 i risultati mostrano un'alternanza nei punteggi IBE che determinano un'oscillazione tra le classi 2 (ambiente con moderati sintomi di alterazione), 3 (ambiente alterato) e 4 (ambiente molto alterato), con siti che mostrano un peggioramento e altri un miglioramento dello stato di qualità rispetto all'autunno 2009. A differenza della stagione autunnale 2010, i punteggi IBE dell'inverno 2011 si riassestano tra il 6 e l'8, come per l'estate 2010, ad eccezione della stazione al km 124 (Palazzolo sull'Oglio) che indica uno stato scadente di qualità da ambiente

molto alterato come in autunno e delle stazioni al km 148 (Torre Pallavicina), 171 (Castelvisconti) e 233 (Canneto sull'Oglio) che invece ricadono in classe 2 (ambiente con moderati sintomi di alterazione). La qualità del sistema fluviale nell'inverno 2011 risulta migliorata se confrontata con i risultati dell'inverno 2010, in ogni modo molto carenti sono le informazione raccolte fino a Torre Pallavicina (km 148).
Per un'analisi più esaustiva sulla qualità dell'acqua valutata attraverso i macroinvertebrati bentonici saranno calcolate le medie annuali appena saranno disponibili i dati della primavera 2011. Una valutazione annuale risulta, infatti, meno viziata dal valore delle singole stagioni.





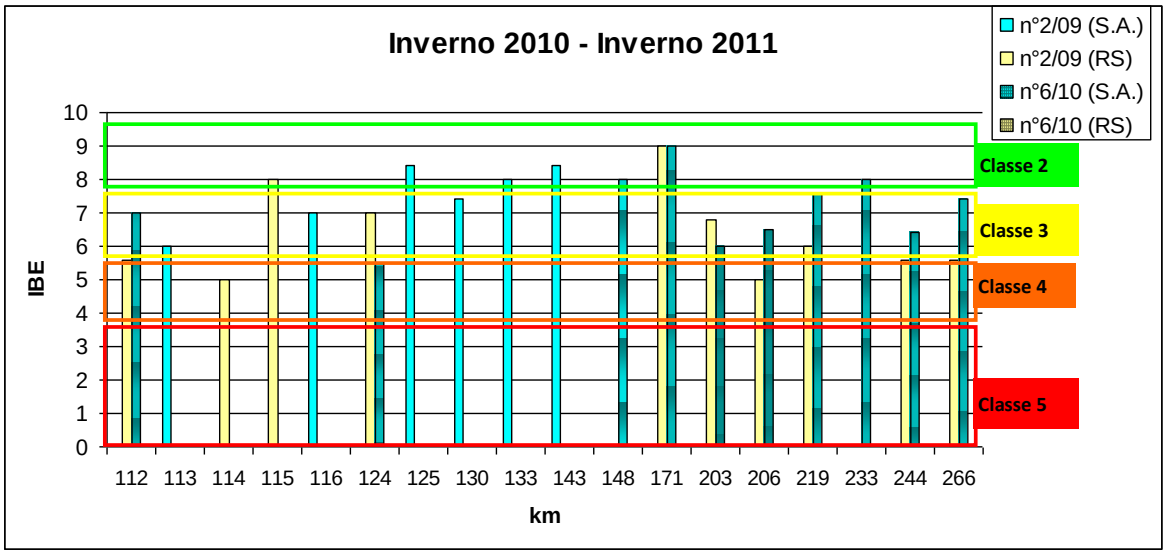


Figura 3.50. Indice IBE applicato alle comunità rinvenute mediante campionamento con Surber e con Substrati Artificiali nelle campagne di misura del progetto: partendo dall'alto verso il basso, estate 2009 ed estate 2010 (scenario 5%), autunno 2009 e autunno 2010 (scenario 15%), inverno 2010 e inverno 2011 (scenario 15%) e primavera 2010 e primavera 2011 (rispettivamente >15% e 10%). Questa rappresentazione ha un valore puramente esplorativo poiché l'applicazione dell'indice IBE non è corretta come già spiegato nel testo.

IBE ANNUALE

Nella tabella 3.8 sono riassunti e riportati i valori di IBE ottenuti per ogni sito campionato, per ognuna delle campagne di misura del primo e secondo anno di attività.

Tabella 3.8. Valori dell'indice IBE calcolato per ogni stazione di campionamento e riportato per le campagne di misura, indicate come ES 09 (estate 2009), AU 09 (autunno 2009), INV 10 (inverno 2010) e PR 10 (primavera 2010), ES 10 (estate 2010), AU 10 (autunno 2010), INV 11 (inverno 2011) e PR 11 (primavera 2011). Sono indicati anche le metodologie di campionamento Surber o Substrati Artificiali (S.A.).

		km																		
		0	1	2	3	4	8	12	13	15	18	21	31	36	52	68	94	107	121	132	154
STAGIONI	SURBER ES 09		7			8			7		9	8.6	8.4	8.4	10						
	SURBER AU 09		8.6			9			9		8	11	9.6								
	SURBER INV 10		6			7			8.4		6.8	8	8.4								
	SURBER PR 10								5.8		7.4	8	8								
	S.A. ES 09	7		7			5	6		6						6.6	7	6.4	7.6	7	6
	S.A. AU 09	5		5.4				6						9.8	10	7	7	6.4	7.6	4.6	6
	S.A. INV 10	5.8		5	8			7							9	6.4	5	6		5.8	5.8
	S.A. PR 10	7		6	5			7.4							8	6.4			6	8	7

		km																		
		0	1	2	3	4	12	13	18	21	31	36	52	68	94	107	121	132	154
STAGIONI	SURBER ES 10		6					7	7		7	6.4		8.4					
	SURBER AU 10																		
	SURBER INV 11																		
	SURBER PR 11																		
	TRAPS ES 10	7		7.6	5.5	5	7.5								6			6	6.6
	TRAPS AU 10	4.5		6	4.7		3.5					4	6	9	5		9.3	7.2	6.2
	TRAPS INV 11	7					5.5					8	9	6	6.5	7.6	8	6.4	7.4
	TRAPS PR 11																		

Biological traits e ecological traits (sensu Usseglio-Polatera et al., 2000).

In tutte le campagne di misura del secondo anno di sperimentazione il gruppo biologico *e* (organismi di dimensioni medie e piccole, uni- o pluri-voltini, con uova cementate e respirazione acquatica) risulta essere uno dei più rappresentati (47,5 %, 38.5% e 32.70% degli organismi appartengono a tale gruppo rispettivamente per la campagna n°5/2010, n°6/2010, n°7/2011 e n°8/2011). Per la campagna estiva (n°5) si rileva anche una cospicua presenza di organismi appartenenti al gruppo biologico *c* (organismi di dimensioni medie, crawlers, con uova cementate o in grappoli, predatori o shredders) dovuta in particolar modo alla notevole presenza in alcuni campioni di Platelminti Turbellari. Molto rappresentati sono anche organismi del gruppo biologico *b* (organismi di dimensioni medio-grandi, generalmente scrapers o shredders, crawlers e spesso ovovivipari), seguiti dagli *h* (organismi principalmente scavatori o interstiziali, monovoltini, principalmente detritivori). Per la campagna autunnale invece molto rappresentati sono gli organismi del gruppo biologico *h* (con il 32,8 % degli individui), seguiti dagli organismi del gruppo b. Infine per la campagna invernale (n°7) dominano il gruppo *b* (con il 52 % degli individui) per la grande abbondanza di Crostacei Gammaridi (genere *Echinogammarus*), seguito dagli organismi del gruppo biologico h e del gruppo *f* (organismi di media taglia, monovoltini, camminatori e in parte tagliuzzatori). In tutte le campagne di misura risultano rappresentati pochissimo i gruppi biologici *d* (0,5 % del totale - organismi di dimensioni medio-grandi, con lunghi cicli vitali ed immagini caratterizzate da buone capacità di volo) e rarissimi (0,1 % del totale) sono gli organismi del gruppo *g* (organismi di dimensioni piccole e medie, buoni nuotatori, con respirazione generalmente aerea ed apparato boccale spesso pungente-succhiante). Tali risultati sono in accordo con le analisi effettuate sui dati raccolti durante il primo anno di sperimentazione.

Dal punto di vista delle caratteristiche ecologiche, il quadro è simile per tutte le campagne di misura: il gruppo maggiormente diffuso è rappresentato dagli organismi *F* (taxa semi-lentici o comunque assolutamente non-reofili, termofili, legati spesso alle macrofite acquatiche, alfa e beta-mesosaprobici) seguiti dal gruppo *E* (taxa termofili, mesosaprobi, tipici di habitat lentici o semi-lentici) e poi dal gruppo *C* (taxa planiziali, che popolano diverse tipologie di substrato, oligo e beta-mesosaprobici, con velocità della corrente medie o moderate). Poco diffusi sono gli organismi appartenenti al gruppo *B* (organismi reofili, oligosaprobi, che prediligono substrati grossolani), *D* (taxa che nelle aree laterali e vicino alle sponde fluviale, euritermi) e *G* (organismi francamente lentici, euritermi, che vivono in substrati fini o finissimi, anche organici, e tra le macrofite).

Confronto con dati ARPA

Non avendo i risultati della campagna n°8/2011 non è stato possibile calcolare l'IBE a livello annuale e quindi confrontare i valori dell'indice IBE tra i due anni di sperimentazione e tra i valori calcolati da ARPA nel periodo 2000-2007 e dal Dipartimento di Scienze Ambientali nel corso dei due anni di attività (2009/2010 e 2010/2011).

Pattern di dispersione dei macroinvertebrati: influenza delle caratteristiche idrologiche

Il presente studio rappresenta un primo tentativo di mettere in evidenza l'influenza dei fattori idrologici sulla struttura delle comunità macrozoobentoniche nel fiume Oglio sublacuale. Questo obiettivo è stato perseguito attraverso l'applicazione di diverse analisi statistiche comunemente utilizzate per questa tipologia di studi. I risultati di queste analisi sono relativi al primo anno di sperimentazione (estate 2009 – primavera 2010) e pertanto non rappresentano dei risultati definitivi, bensì delle tendenze che devono essere confermate nei tre anni. Vista l'eterogeneità delle metodiche di campionamento utilizzate per la caratterizzazione della comunità macrozoobentonica, i dati sono stati trattatati nel modo più cautelativo possibile (si veda oltre per descrizioni più dettagliate). L'approccio

sembra essere promettente, anche se alcuni miglioramenti sono necessari per fornire una visione più completa della situazione.

Analisi statistica

Per mettere in evidenza l'influenza delle variabili idrologiche sulla struttura di comunità, le stazioni sono state classificate "a priori" in base alle caratteristiche ambientali del sito. Più in specifico, sono state identificate 3 tipologie di sezioni: tratti bacinizzati (a monte di dighe o briglie), tratti sottesi (subito a valle dei bacinizzati) e tratti potamali (a corrente libera dopo il tratto interessato dalle bacinizzazioni). Questa suddivisione "a priori" si è resa necessaria per via della variabilità idrologica dei sistemi fluviali che non permette semplici classificazioni basate su tecniche di ordinamento quali cluster analysis o analisi delle componenti principali.
Dal momento in cui la risoluzione tassonomica utilizzata per la classificazione non è omogenea si è ritenuto opportuno condurre le analisi statistiche considerando solamente il livello tassonomico di famiglia. Le informazioni riguardanti il genere sono state utilizzate per ottenere migliori risultati nelle analisi statistiche che riguardano i tratti ecologici degli organismi. Le analisi sono state effettuate considerando i dati di presenza/assenza, in modo tale da evitare qualsiasi influenza del tipo di campionamento sull'abbondanza degli organismi (IRSA-CNR, 2007). I dati di presenza/assenza, infatti, non influiscono oltremodo sulla determinazione della struttura di comunità (Fenoglio et al., 2002).
L'effetto della stagione, del tipo di sezione e del tipo di campionamento sulla ricchezza in famiglie è stato testato utilizzando un'ANOVA a tre vie sui valori trasformati con il logaritmo in base e. Dal momento in cui il disegno sperimentale non è bilanciato, è stato scelto il modello migliore utilizzando un selezione "stepwise" (Venables and Ripley, 2002).
Le curve di accumulazione sono state calcolate al fine di determinare se il numero di famiglie ottenuto attraverso i campionamenti sia rappresentativo dell'intera comunità presente nel fiume Oglio. Oltre che per l'intero fiume, le curve sono state calcolate per le tre sezioni individuate con la suddivisione a priori dei tre gruppi di stazioni (bacinizzato, a valle della bacinizzazione e potamale). Dal momento in cui la ricchezza in taxa è la variabile principale che descrive la diversità delle biocenosi, le curve di accumulazione sono uno strumento per standardizzare le stime di ricchezza ottenute nei vari campioni. Questo metodo è ampiamente utilizzato per valutare la qualità dei database (Soberón and Llorente 1993) e rappresenta il valore cumulato del numero di taxa trovato all'interno di un'area geografica in funzione dello sforzo di campionamento (Colwell and Coddington, 1994). La pendenza della curva diminuisce con l'aumentare dello sforzo di campionamento e raggiunge un valore ipotetico di 0 quando tutti i taxa presenti in un'area geografica sono stati campionati. Sono state testate diverse curve proposte in letteratura (esponenziale negativa, Clench, Weibull, Morgan–Mercer–Flodin) al fine di trovare quella che si adattasse meglio alla curva sperimentale. La bontà dell'adattamento è stata valutata calcolando l'Akaike Information Criteria (AIC). La funzione che meglio si adatta alle curve sperimentali calcolate per il fiume Oglio è quella di Weibull. In generale, la funzione di Weibull è un buon compromesso tra il numero di parametri da calcolare e il risultato che si ottiene (Jimenez-Valverde et al., 2006; Tjørve 2003). La ricchezza in famiglie attesa è data dal valore asintotico della curva adattata alla curva sperimentale. Il rapporto tra ricchezza osservata e ricchezza attesa è stato utilizzato come misura della completezza dell'inventario (per i tre segmenti individuati a priori e per l'intero fiume).
Il metodo di ordinamento nMDS (nonmetric multidimensional scaling) è stata utilizzato al fine di identificare eventuali relazioni tra le comunità di macroinvertebrati bentonici rinvenute nei diversi siti campionati in tutte le date di campionamento. La misura di distanza utilizzata è stata Bray-Curtis, comunemente utilizzata nelle applicazioni ecologiche, e il valore di stress è stato utilizzato come misura della bontà dell'adattamento, con un valore soglia di 0.2 al di sopra del quale l'ordinamento non è ritenuto affidabile. Vettori e superfici dei parametri idrologici sono stati adattati all'output dell'nMDS, in modo da identificare quali fattori ambientali influenzino maggiormente la struttura delle comunità macrozoobentoniche. Prima dell'analisi multivariata le variabili idrologiche sono state

trasformate con il logaritmo in base e in modo da migliorare la relazione lineare tra le variabili e per ridurre l'asimmetria della distribuzione.
L'analisi IndVal (Indicator Value) è stata eseguita al fine di individuare la/le famiglie indicatrici per ogni sezione individuata a priori. Questa analisi fornisce un valore indicatore (IV) sull'affinità di ogni singolo taxon per un gruppo d'appartenenza scelto a priori, basandosi sulla differenza nelle frequenze di ritrovamento del singolo taxon in ogni gruppo.
Il calcolo avviene determinando le quantità A (la frequenza relativa delle specie nel gruppo target diviso per la somma delle frequenze relative in tutti i gruppi) e B (frequenza relativa delle abbondanze). La significatività del valore indicatore è stata valutata con il test di Monte-Carlo (999 volte), per il quale è stato settato un valore di alpha pari a 0.05.
Il "4th Corner method" (Legendre et al., 1997) è stato utilizzato per valutare le differenze tra le caratteristiche ecologiche delle comunità macrozoobentoniche nei diversi tratti e nelle diverse condizioni ecologiche. La matrice dei tratti ecologici è stata costruita utilizzando i dati proposti da Usseglio-Polatera et al. (2000) e Tachet et al. (2002). In totale sono state considerate 10 caratteristiche ecologiche con un totale di 50 sottogruppi. Questo metodo mette in relazione le caratteristiche ecologiche dei taxa con le caratteristiche fisiche dell'habitat in cui vivono. Il calcolo prevede l'utilizzo delle matrici dei tratti ecologici, di presenza/assenza delle famiglie per ogni stazione e della matrice dei parametri ambientale. Tra i 5 modelli proposti da Dray e Legendre (2008) si è ricorso al modello 2: "controllo ambientale sull'insieme di specie". Dal database dei tratti ecologici (Usseglio-Polatera et al., 2000; Tachet et al. (2002) sono state estratte solamente le famiglie presenti in Italia, selezionate consultando la checklist della fauna italiana e il database dei taxa e dell'autoecologia degli organismi di acqua dolce). Nella costruzione del database dei tratti ecologici e biologici sono stati considerati solo i generi ritrovati nel fiume Oglio, laddove disponibili. L'ultimo passaggio necessario per la creazione di un corretto database delle caratteristiche ecologiche è stato quello di calcolare le frequenze relative di ogni sottogruppo (ad esempio acque dolci e salmastre) appartenente a ogni categoria (ad esempio preferenza per condizioni saline). La somma delle frequenze di ogni sottogruppo appartenente a una categoria è pari a 1.
Tutte le analisi statistiche sono state eseguite attraverso il software R (R-Development core-team, 2010) e i pacchetti vegan (Oksanen et al., 2011), ade4 (Chessel et al., 2004) e indicspecies (De Cáceres and Legendre, 2009).

Risultati

Fattori che influenzano la ricchezza in specie

L'ANOVA a tre vie ha messo in evidenza come i fattori stagione ($p<0.05$), tipo di sezione ($p<0.01$) e l'interazione Stagione:Sezione ($p<0.05$) siano statisticamente significative e regolino la ricchezza in famiglie. Il fattore tecnica di campionamento, invece, non è risultato significativo.

Valutazione del database degli organismi rinvenuti

Durante lo studio sono stati analizzati più di 40000 organismi a livello tassonomico di genere o famiglia per un totale di 75 famiglie identificate. Le sezioni a valle della diga e potamali sono risultate quelle con maggior ricchezza in famiglie, rispettivamente pari a 61 e 55. La sezione con il minor numero di famiglie è risultata quella a monte della diga, con un numero di famiglie pari a 39. Le curve di accumulazione mettono in evidenza come lo sforzo di campionamento sia stato sufficiente per ottenere un dataset rappresentativo, sia a livello di singola sezione che a livello dell'intero fiume. La percentuale delle famiglie rinvenute rispetto a quelle attese è maggiore di 75 % nelle 3 sezioni (Figura 3.51, tabella 3.9), mentre per il fiume Oglio si attesta ad un valore pari al 92 % (72famiglie rinvenute su 78attese). La pendenza della curva di accumulazione è maggiore per i siti a valle della diga rispetto alle altre sezioni.

Tabella 3.9. Numero di famiglie attese (Fatt), osservate (Fobs) e grado di completezza dell'inventario nelle diverse sezioni identificate a priori e nel fiume Oglio. Il numero di famiglie atteso è stato calcolato attraverso la funzione di Weibull.

	F_{att}	F_{oss}	% Compl
Sezioni bacinizzate	47	37	78
Sezioni sottese	69	61	89
Sezioni potamali	65	55	84
Fiume Oglio (totale)	78	72	92

Importanza delle caratteristiche idromorfologiche nella strutturazione delle comunità macrozoobentoniche

L'ordinamento a 3 dimensioni effettuato con la nMDS mette in evidenza una suddivisione in 3 gruppi, corrispondenti a quelli individuati a priori (tre gruppi: stazioni nei tratti bacinizzati, stazioni a valle delle bacinizzazioni e stazioni del tratto potamale) (figura 3.52). Il valore di stress è risultato pari a 0.16. Le correlazioni positive e statisticamente significative tra i valori dell'nMDS e le variabili idrologiche suggeriscono una forte importanza dell'idrologia nello strutturare le comunità macrozoobentoniche. Più in dettaglio (figura 3.52) la velocità elevata è caratteristica delle stazioni a valle delle dighe e di quelle potamali, mentre un'elevata profondità è caratteristica di quelle a monte della bacinizzazione e di quelle potamali. Le sezioni potamali sono risultate essere caratterizzate anche da elevate portate. Il fitting lineare è risultato statisticamente significativo ($p<0.001$) per i 3 parametri idrologici considerati.

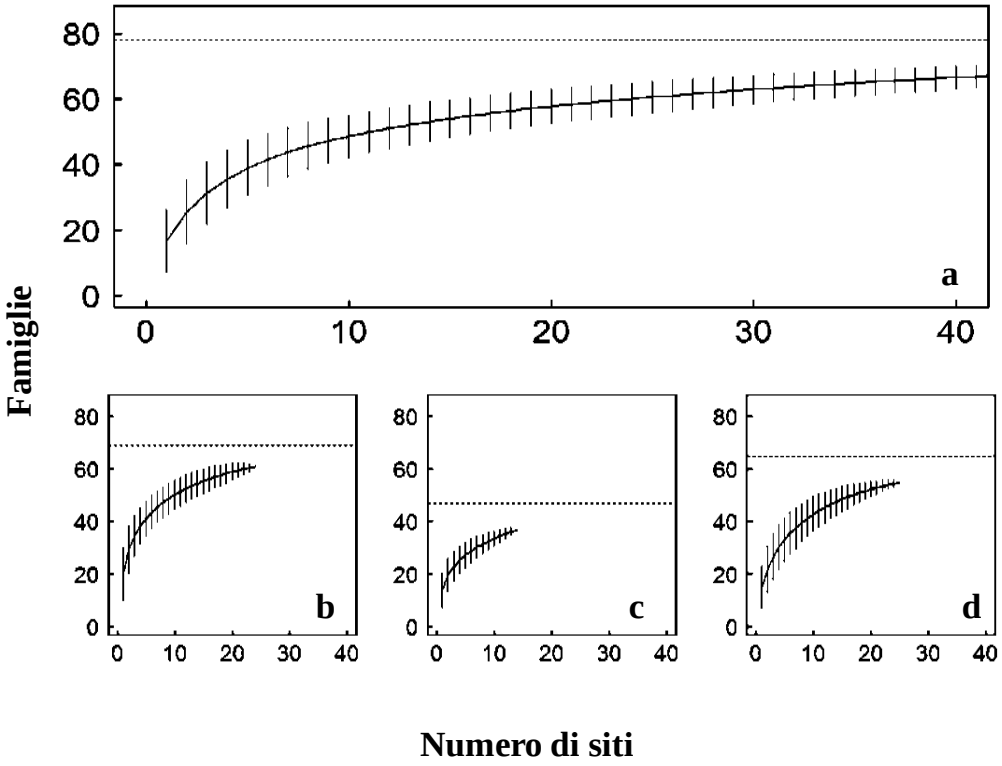


Figura 3.51. Curve di accumulazione a) del fiume Oglio sublacuale , b) sezioni sottese, c) sezioni bacinizzate e d) sezioni potamali. La linea grigia rappresenta la funzione di Weibull adattata ai dati sperimentali.

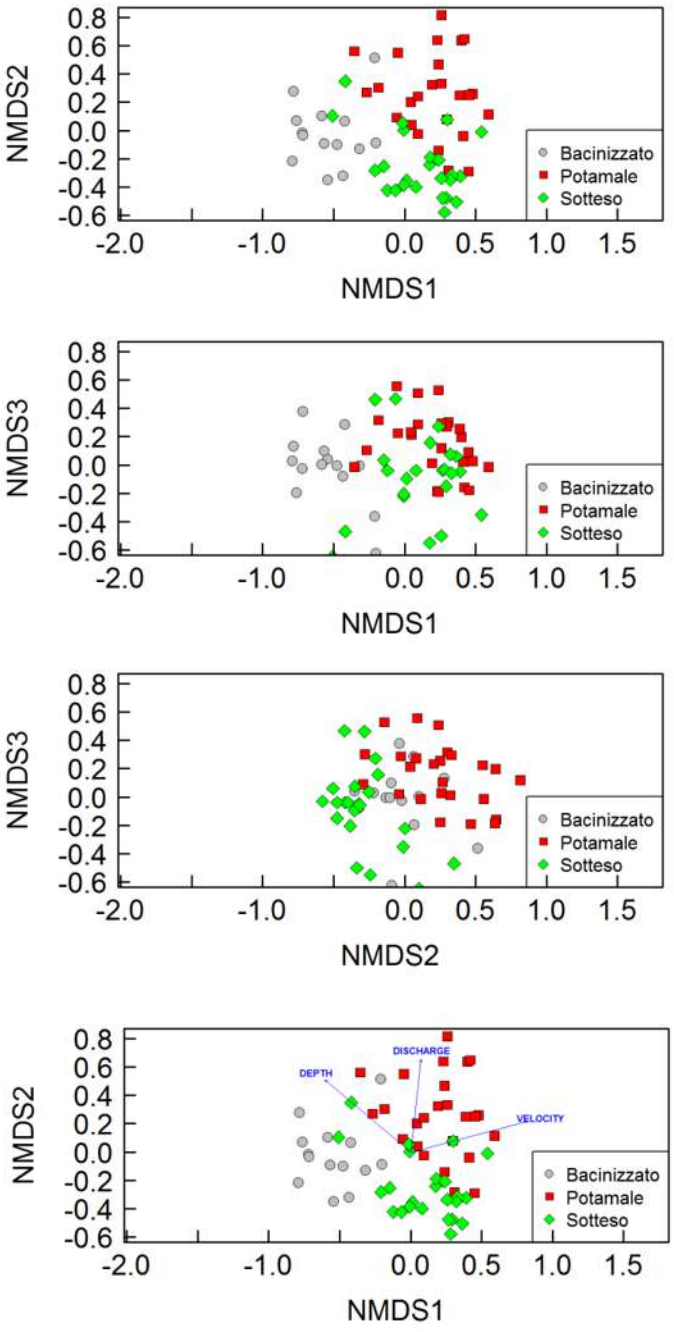


Figura 3.52. Grafici del non-metric multidimensional scaling effettuato sui dati di presenza-assenza. Le prime 3 figure si riferiscono alle 3 dimensioni considerate, che consentono di ridurre lo stress dell'adattamento a 0.16. Nell'ultima figura sono stati adattati i dati idrologici trasformati logaritmicamente.

Famiglie indicatrici e analisi sulle caratteristiche ecologiche

L'analisi IndVal ha individuato diversi taxa indicatori per le 3 diverse sezioni (Tabella 3.10). Sette famiglie sono risultate indicatrici ($p<0.05$) per le stazioni bacinizzate e tra queste Ecnomidae (82.2), Coenagrionidae (70.6) e Lymnaeidae (65.5) presentano i valori di significatività più alti ($p<0.001$). Le stazioni a valle della diga presentano 7 famiglie indicatrici, tra cui Psychomidae con il valore indicatore più alte (82.9; $p<0.001$). I tratti potamali presentano 4 famiglie indicatrici, tra cui Heptageniidae con il valore indicatore maggiore (74.1; $p<0.001$.)

Le famiglie indicatrici presentano delle caratteristiche biologiche ed ecologiche selettive che ne determinano la presenza in frequenze molto alte in alcune sezioni piuttosto che in altre. Per evidenziare eventuali differenze tra i caratteri ecologici a livello di sezione si è proceduto all'analisi del "4th corner method". I risultati di tale analisi mostrano dei pattern distinti tra le diverse sezioni individuate (tabella 3.11). Per il livello tassonomico considerato solo alcuni caratteri ecologici possono fornire informazioni significative, poiché legati alla morfologia generale piuttosto che alle esigenze trofiche degli organismi: distribuzione trasversale, distribuzione longitudinale, tipo di substrato e velocità della corrente. Gli altri caratteri ecologici sono specie specifici e non consentono di trarre conclusioni generali.

Tabella 3.10. Famiglie indicatrici ottenute attraverso l'analisi IndVal nelle tre sezioni identificate a priori.

Stazioni bacinizzate		
Famiglie	**I.V.**	***p*-value**
Ecnomidae	82.2	0.001
Coenagrionidae	70.6	0.001
Physidae	68.5	0.005
Lymnaeidae	65.5	0.001
Viviparidae	53.5	0.002
Planariidae	42.5	0.019
Acroloxidae	37.8	0.044
Stazioni sottese		
Famiglie	**I.V.**	***p*-value**
Psychomyidae	82.9	0.001
Limonidae	68.0	0.001
Ephemerellidae	62.9	0.005
Lumbricidae	62.5	0.003
Hydroptilidae	61.5	0.001
Neritidae	61.2	0.002
Empididae	54.6	0.004
Stazioni potamali		
Famiglie	**I.V.**	***p*-value**
Heptagenidae	74.1	0.001
Calopterygidae	63.4	0.002
Gomphidae	51.7	0.033
Platycnemididae	47.2	0.020

○

Tabella 3.11. Risultati dell'analisi "4th corner method" effettuata utilizzando le matrici ambientale, di presenza-assenza degli organismi e dei tratti ecologici. Un valore di probabilità significativo per il test F indica che almeno uno dei tratti (bacinizzati, potamali, sottesi) è correlato significativamente con il carattere ecologico considerato (* p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, p<0.1). L'r value rappresenta il valore di correlazione tra trait ecologico e tratto considerato mentre il p-value la significatività di tale correlazione.**

Tratti ecologici	*F*-test	*p*-value		**bacinizzati**		**potamali**		**sottesi**	
				r-value	*p*-value	**r-value**	*p*-value	**r-value**	*p*-value
Distribuzione trasversale									
Fiume	13,71	0,001	***	-0,16	0,003	0,07	0,016	0,05	0,034
Rive	15,17	0,001	***	-0,16	0,003	0,01	0,408	0,12	0,003
stagni_pozze	36,55	0,001	***	0,26	0,003	-0,10	0,014	-0,11	0,014
Paludi	1,28	0,126		0,03	0,282	-0,05	0,084	0,03	0,282
pozze temporanee	4,07	0,001	***	0,03	0,098	-0,09	0,003	0,06	0,016
Laghi	4,70	0,001	***	0,07	0,004	0,03	0,113	-0,09	0,003
acque sotterranee	2,81	0,001	***	0,02	0,208	0,06	0,003	-0,07	0,003
Distribuzione longitudinale									
Crenon	8,07	0,001	***	-0,11	0,003	-0,01	0,417	0,09	0,003
Epirithron	24,77	0,001	***	-0,21	0,003	0,04	0,106	0,12	0,003
Metarithron	21,29	0,001	***	-0,19	0,003	0,11	0,003	0,04	0,120
Hyporithron	6,41	0,001	***	-0,11	0,003	0,04	0,068	0,05	0,032
Epipotamon	4,45	0,009	**	0,07	0,014	0,03	0,194	-0,08	0,009
Metapotamon	15,75	0,001	***	0,17	0,003	-0,05	0,034	-0,08	0,022
Estuari	8,24	0,001	***	0,04	0,037	-0,12	0,003	0,09	0,003
esterno al sistema fluviale	17,69	0,001	***	0,17	0,003	-0,02	0,293	-0,12	0,003
Altitudine									
Pianura	9,68	0,001	***	0,13	0,003	-0,05	0,052	-0,06	0,052
Collina	10,18	0,001	***	-0,14	0,003	0,07	0,008	0,03	0,129
Montagna	5,32	0,002	**	-0,09	0,003	-0,01	0,413	0,08	0,004
Substrato (preferendum)									
Massi	3,08	0,005	**	0,00	0,487	-0,07	0,003	0,07	0,004
Ghiaia	7,25	0,001	***	-0,10	0,003	0,09	0,003	-0,01	0,324
Sabbia	12,81	0,001	***	-0,14	0,003	0,12	0,003	0,00	0,451
Argilla	10,61	0,001	***	-0,06	0,004	0,14	0,003	-0,09	0,004
Macrofite	8,49	0,001	***	0,12	0,003	-0,08	0,006	-0,02	0,230
Microfite	10,59	0,001	***	0,14	0,003	-0,05	0,044	-0,06	0,044
Radici	4,28	0,001	***	-0,05	0,010	-0,05	0,011	0,09	0,003
detrito organico	0,77	0,164		0,03	0,153	0,01	0,325	-0,03	0,153
Fango	2,02	0,059	.	0,03	0,151	0,04	0,134	-0,06	0,018
Velocità della corrente (preferendum)									
Nulla	31,87	0,001	***	0,24	0,003	-0,10	0,008	-0,09	0,013
Lenta	6,56	0,001	***	0,11	0,003	-0,07	0,004	-0,02	0,200
Media	35,69	0,001	***	-0,25	0,003	0,14	0,003	0,06	0,068
Veloce	19,39	0,001	***	-0,19	0,003	0,06	0,022	0,09	0,008
Stato trofico (preferendum)									
Oligotrofico									
Mesotrofico	9,94	0,001	***	-0,13	0,003	0,02	0,266	0,09	0,006
Eutrofico	3,37	0,008	**	0,05	0,058	0,04	0,059	-0,08	0,009
	9,03	0,001	***	0,13	0,003	-0,06	0,024	-0,05	0,041
Salinità (preferendum)									

acque dolci									
Acque salmastre	33,62	0,001	***	-0,22	0,003	0,17	0,003	0,01	0,406
	33,62	0,001	***	0,22	0,003	-0,17	0,003	-0,01	0,406
Temperatura									
Psicrofilo									
Termofilo	5,23	0,001	***	-0,10	0,003	0,04	0,066	0,04	0,062
Euritermi	0,41	0,411		0,02	0,333	-0,02	0,333	0,00	0,446
	2,15	0,032	*	0,06	0,006	-0,01	0,318	-0,04	0,126
Saprobicità									
Xenosaprobico									
Oligosaprobico	5,41	0,001	***	-0,10	0,003	0,02	0,188	0,06	0,034
b_meso	11,11	0,001	***	-0,14	0,003	0,03	0,126	0,08	0,018
a_meso	1,50	0,035	*	0,05	0,036	-0,04	0,042	0,00	0,456
Polisaprobico	13,56	0,001	***	0,14	0,003	0,01	0,392	-0,12	0,003
	0,06	0,879		0,01	0,831	0,00	0,831	0,00	0,831
pH (preferendum)									
< 4									
4-4.5	1,11	0,023	*	0,04	0,030	0,01	0,284	-0,04	0,030
4.5-5	2,34	0,016	*	0,07	0,015	-0,03	0,160	-0,02	0,160
5- 5.5	0,30	0,366		-0,02	0,342	-0,01	0,357	0,02	0,342
5.5-6	13,72	0,001	***	-0,14	0,003	0,12	0,003	-0,01	0,411
> 6	0,45	0,511		-0,02	0,408	-0,01	0,408	0,03	0,390
maj6	1,56	0,039	*	0,05	0,024	-0,04	0,048	0,00	0,495

3.3. Azione 3 - Monitoraggio MACROFITE

Nel corso delle tre campagne di monitoraggio condotte per le macrofite [agosto-settembre 2009 (1/09), luglio-settembre 2010 (5/10) e 2011 (9/11)] (tabella 3.12), secondo le indicazioni riportate nel paragrafo metodologico. Nel corso dei rilevamenti in campo si è operato al fine di mantenere una corrispondenza tra siti di monitoraggio idrochimico e biologico anche se, come riportato nel paragrafo concernente il monitoraggio dei macroinvertebrati, alcune stazioni sono state necessariamente ricollocate a monte o a valle delle stazioni di progetto per motivi legati prevalentemente all'accessibilità e alla rappresentatività dei siti stessi.

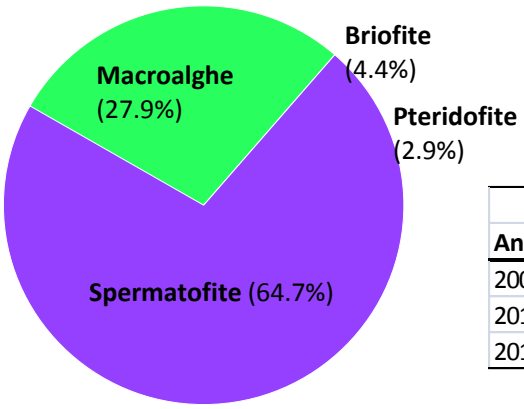
Tabella 3.12. Stazioni di campionamento; ciascun tratto è stato caratterizzato per: coordinate spaziali; quota altimetrica (m s.l.m.); grado di ombreggiamento complessivo (%); ampiezza alveo bagnato (m); ampiezza dell'alveo di morbida (m); n° di *facies* idrologiche (i dati in tabella si riferiscono alla prima campagna di caratterizzazione del 2009; quelli relativi al biennio 2010-2011 seguente sono riportati in Appendice).

Stazione	Coordinate stazione		Quota stazione (m s.l.m.)	grado ombreggiamento	ampiezza alveo bagnato (m)	ampiezza alveo di morbida (m)	N° facies idrologiche	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità
1	45°39'53.28"N	9°56'40.02"E	192	5	85.2	87.1	1	55.0	0.0	0.0	20.0	75	11
3	45°39'46.80"N	9°56'21.81"E	183	10	23.3	25.2	2	5.0	0.0	0.0	20.0	25	11
4	45°39'21.73"N	9°56'16.84"E	181	5	98.2	101.3	2	70.0	0.0	0.0	30.0	100	12

Stazione	Coordinate stazione		Quota stazione (m s.l.m.)	grado ombreggiamento	ampiezza alveo bagnato (m)	ampiezza alveo di morbida (m)	N° facies idrologiche	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità
6	45°38'53.71"N	9°55'59.76"E	178	25	25.8	26.7	2	15.0	0.0	0.0	50.0	65	15
7	45°38'48.18"N	9°55'33.74"E	176	20	57.2	59.1	2	35.0	0.0	0.0	30.0	70	12
8	45°38'49.43"N	9°54'58.24"E	173	25	33.75	37.2	3	+	0.0	0.0	45.0	45	13
11	45°37'10.56"N	9°54'03.45"E	160	5	85.7	88.0	2	20.0	0.0	0.0	15.0	35	9
14	45°36'15.85"N	9°53'28.17"E	158	20	42.3	44.8	3	+	0.0	0.0	70.0	70	10
15	45°36'15.85"N	9°53'28.17"E	148	5	87.4	87.4	2	20.0	0.0	0.0	40.0	60	6
16	45°35'15.18"N	9°51'49.49"E	145	5	37.5	46.2	3	5.0	0.0	0.0	55.0	60	4
21	45°34'32.79"N	9°50'35.38"E	141	5	46.5	47.8	2	+	0.0	+	60.0	60	7
24	45°33'39.19"N	9°51'3.05"E	135	15	38.5	40.9	3	+	0.0	0.0	75.0	75	9
25	45°33'12.66"N	9°50'16.05"E	128	0	60.2	60.3	1	35.0	0.0	0.0	35.0	70	10
26	45°32'40.36"N	9°50'47.70"E	125	5	28.7	33.2	4	+	0.0	0.0	15.0	15	9
27	45°31'37.70"N	9°51'4.68"E	118	1	27.3	32.5	2	+	0.0	0.0	25.0	25	8
31	45°29'1.62"N	9°52'29.76"E	102	10	50.4	53.1	4	+	0.0	0.0	75.0	75	6
32	45°28'49.45"N	9°52'36.06"E	100	15	60.2	61.8	2	20.0	0.0	0.0	75.0	85	6
35	45°27'24.14"N	9°53'29.65"E	88	25	45.5	48.7	4	5.0	0.0	+	85.0	95	16
36	45°26'57.77"N	9°53'25.90"E	84	10	38.4	40.2	4	+	0.0	+	70.0	70	11
39	45°23'57.58"N	9°53'25.17"E	69	5	68.9	75.6	3	+	0.0	5.0	80.0	90	12
42	45°20'17.88"N	9°54'14.73"E	54	10	45.6	48.7	4	0.0	0.0	+	75.0	75	21
47	45°16'43.87"N	10° 2'31.30"E	40	25	36.8	38.9	3	+	0.0	+	25.0	25	6
59	45°13'3.78"N	10°14'33.10"E	32	15	45.7	51.3	3	+	0.0	0.0	45.0	45	8
62	45°11'21.16"N	10°18'13.84"E	29	10	68.9	71.3	2	15.0	0.0	0.0	25.0	40	14
63	45°10'43.82"N	10°18'57.56"E	28	5	80.2	83.7	2	15.0	0.0	+	35.0	50	14
68	45° 8'10.20"N	10°24'47.91"E	24	5	49.2	52.0	3	+	0.0	0.0	10.0	10	10
73	45° 8'41.61"N	10°26'48.03"E	22	5	63.2	89.2	3	+	0.0	0.0	45.0	45	11
77	45° 7'24.70"N	10°30'38.65"E	21	5	77.3	110.2	3	+	0.0	+	15.0	15	13
78	45° 4'39.48"N	10°35'4.22"E	20	5	48.8	113.2	3	+	0.0	0.0	35.0	35	10
80	45° 2'34.69"N	10°39'10.00"E	16	1	87.6	102.6	3	+	+	0.0	30.0	30	11
							M	21.4	0.0	0.4	44.0	52.8	10.5
							SD	20.6	0.0	1.4	22.6	24.1	3.5
							ES	3.8	0.0	0.3	4.1	4.4	0.6
							Max	70.0	0.0	5.0	85.0	90.0	21.0
							Min	5.0	0.0	0.0	15.0	15.0	4.0

L'analisi del materiale raccolto in campo per la successiva determinazione tassonomica di laboratorio (specialmente per componente briologica e macroalgale) è stato analizzato al microscopio ottico e allo stereomicroscopio; l'inquadramento sistematico è stato precisato utilizzando i seguenti riferimenti: per le fanerogame Pignatti (1982), Conti et al. (2005; 2006), Celesti-Grapow et al. (2009); per le briofite Cortini Pedrotti (2001); per le macroalghe Bourelly (1966) e John et al. (2000). È stato, possibile, quindi, redigere l'elenco specifico completo e una preliminare caratterizzazione strutturale dei popolamenti di produttori primari macroscopici insediati all'interno dei tratti omogenei indagati (stazioni di monitoraggio) (Appendice).

Complessivamente i taxa individuati sono 68 (11 in più rispetto alla florula identificata fino alla prima delle due fasi di rilevamento della campagna 5/10), di cui 44 spermatofite, 2 pteridofite (*Equisetum ramossissimum* e *Salvinia natans*), 3 briofite (*Fontinalis antipyretica*, *Hygrohypnum luridum* e *Amblystegium fluviatile*) e 19 alghe tra chlorophyceae e cyanophyta. Per molte di quest'ultime (le alghe verdi e verdazzurre) l'accuratezza della determinazione si è fermata a livello di genere, come richiesto dal protocollo d'indagine (figura 3.53). Rispetto alle prime due fasi di analisi è stato possibile raggiungere un dettaglio maggiore per quanto riguarda l'analisi della diversità macroalgale raggiungendo, in alcuni casi il livello di specie [si deve considerare, peraltro, che i campioni raccolti nella seconda fase di analisi della campagna 5/11 (agosto 2011) sono ancora in fase di analisi e, pertanto, si "dovrebbe" procedere ad un ulteriore incremento della diversità]. Nel corso del campionamento 2011 è stato possibile confermare almeno due delle stazioni di *Thorea hispida* indicate in precedenza per l'Oglio sub lacuale (specie indicata erroneamente nelle relazioni precedenti come *Thorea violoacea*) che rappresentano le prime segnalazioni accertate per il genere e la specie a scala nazionale (si ringrazia la prof.ssa Abdelahad dell'Università La Sapienza per il supporto nelle fasi di determinazione). Si tratta di un'alga rossa (*Rhophyta*) filamentosa (che presenta solo un livello di ramificazione secondaria) non comune, distribuita sia nelle regioni temperate che tropicali; la scarsità di dati relativi alla sua distribuzione è dovuta principalmente alla difficoltà di osservarla nello stadio macroscopico nel quale può raggiungere dimensioni notevoli (fino a 1-2 m di lunghezza) (John et al., 1989).



	Componente		
Anno	Spermatofite	Macroalghe	Briofite
2009	10.0 ± 17.5	43.0 ± 22.9	0.3 ± 1.3
2010	10.2 ± 18.3	43.0 ± 22.9	0.3 ± 1.3
2011	11.1 ± 6.3	30.8 ± 29.4	0.2 ± 0.9

Figura 3.53. Spettro floristico complessivo per i tre anni di indagine e valori medi di copertura-abbondanza (distintamente per i tre anni).

Nel complesso, analizzando la rappresentatività di ciascun gruppo tassonomico identificato (spermatofite, pteridofite, briofite e macroalghe), si è osservato come gran parte della γ diversità floristica (n = 68; tabella 3.13) del fiume Oglio sublacuale sia rappresentata da spermatofite (44 entità pari al 64.7 % della diversità complessiva) anche se, considerando le percentuali di copertura, nel complesso, queste specie sono in grado mediamente di colonizzare/coprire meno del 10% degli areali nei settori fluviali analizzati (mediamente comprese tra 9.3 e 10.0 %; come valori medi) (tabella 3.14).

Tabella 3.13. Diversità floristica del fiume Oglio sublacuale; S: spermatofite, P: pteridofite, B: briofite, A: alghe.

tipo	nome scientifico	nome comune	09	10	11
S	Alisma plantago-aquatica L.	Piantaggine acquatica	x	x	x
S	Alisma lanceolatum With.	Mestolaccia lanceolata	x	x	x
S	Berula erecta (Huds.) Coville	Sedanina d'acqua	x	x	x
S	Butomus umbellatus L.	Giunco fiorito	x	x	x
S	Callitriche stagnalis Scop.	Gamberaja maggiore	x	x	x
S	Carex elata All. subsp. elata	Carice spondicola			x
S	Ceratophyllum demersum L.	Ceratofillo comune	x	x	x
S	Egeria densa Planch.	Peste d'acqua maggiore	x	x	x
S	Elodea canadensis Michx.	Peste d'acqua comune	x	x	x
S	Elodea nuttallii (Planch.) H. St.John	Peste di Nuttall	x	x	x
S	Groenlandia densa (L.) Fourr.	Brasca a foglie opposte	x	x	x
S	Iris pseudoacorus L.	Giaggiolo acquatico	x	x	x
S	Lagarosiphon major (Ridl.) Moss	Peste d'acqua arcuata	x	x	x
S	Lemna minor L.	Lenticchia d'acqua comune	x	x	x
S	Lemna minuta Kunth	Lenticchia minore	x	x	x
S	Lemna trisulca L.	Lenticchia d'acqua spatolata	x	x	x
S	Lindernia dubia (L.) Pennell	Vandellia delle risaie	x	x	x
S	Lindernia palustris Hartmann	Vandellia palustre	x	x	x
S	Ludwigia hexapetala (Hook. & Arn.) Zardini, H.Gu. & P.H. Raven	Parrocchia a fiori grandi	x	x	x
S	Lythrum salicaria L.	Salcerella comune	x	x	x
S	Mentha aquatica L. subsp. aquatica	Menta d'aqcua			x
S	Myosotis scorpioides L. (gruppo)	Nonistordardimé delle paludi			x
S	Myriophyllum spicatum L.	Millefoglio d'acqua comune	x	x	
S	Najas marina L. subsp. marina	Ranocchia maggiore	x	x	
S	Nasturtium officinale R. Br. subsp. officinale	Crescione	x	x	x
S	Nuphar lutea (L.) Sm.	Nannufero	x	x	
S	Paspalum distichum L.	Panico acquatico	x	x	
S	Persicaria amphibia (L.) Delarbre	Poligono anfibio	x	x	
S	Persicaria hydropiper (L.) Spach	Poligono pepe d'acqua	x	x	
S	Phalaris arundinacea L. subsp. arundinacea	Scagliola palustre			x
S	Potamogeton crispus L.	Brasca increspata	x	x	
S	Potamogeton pectinatus L.	Brasca comune	x	x	
S	Potamogeton perfoliatus L.	Brasca arrotondata	x	x	
S	Potamogeton polygonifolius Pourr.	Brasca palermitana	x	x	
S	Potamogeton pusillus L.	Brasca delle lagune	x	x	
S	Ranunculus trichophyllus Chaix subsp. trichophyllus	Ranuncolo capillare	x	x	
S	Rorippa amphibia (L.) Besser	Crescione di Chiana	x	x	
S	Sparganium erectum L. s.l.	Coltellaccio maggiore	x	x	
S	Spirodela polyrhiza (L.) Schleid.	Lenticchia d'acqua maggiore	x	x	
S	Valeriana officinalis L. s.l.	Valeriana comune			x
S	Vallisneria spiralis L.	Vallisneria	x	x	
S	Veronica anagallis-aquatica L.	Veronica acquatica	x	x	
S	Veronica beccabunga L.	Veronica beccabunga, Erba grassa			x
S	Zannichellia palustris L.	Zannichellia	x	x	
P	Equisetum ramosissimum Desf.	Equiseto ramosissimo			x
P	Salvinia natans (L.) All.	Erba pesce	x	x	
B	Amblystegium fluviatile (Hedw.) Schimp.		x	x	x
B	Fontinalis antipyretica Hedw.		x	x	x
B	Hygrohypnum luridum (Hedw.) Jenn.		x	x	
A	Chaetophora incrassata				x
A	Chaetophora sp. (non incrassata)				x
A	Chara globularis		x	x	x
A	Cladophora glomerata		x	x	x
A	Hydrodictyon reticulatum		x	x	x
A	Lyngbya sp.		x	x	x
A	Microspora sp.		x	x	
A	Oedocladium sp.		x	x	

tipo	nome scientifico	nome comune	09	10	11
A	Oscillatoria sp.		x	x	x
A	Phitophora sp.		x	x	
A	Phormidium sp.		x	x	x
A	Rhizoclonium sp.				x
A	Spirogyra sp.		x	x	
A	Stigeoclonium sp.				x
A	Tetrasporidium sp.		x	x	
A	Thorea hispida		x	x	x
A	Ulothrix sp.				x
A	Vaucheria sp.				x
A	Zygnema sp.		x	x	x

Nel corso dei campionamenti (nel triennio) le specie maggiormente diffuse si sono rilevate *Oscillatoria* sp., (numero medio di stazioni colonizzate 29) *Spirogyra* sp. (numero medio di stazioni colonizzate 26) e *Cladophora glomerata* (numero medio di stazioni colonizzate 24), tre taxa macroalgali caratteristici di ambienti da meso-eutrofici a ipertrofici; considerazioni che confermano i dati riportati nella prima relazione annuale di analisi. Peraltro, amplissima è la letteratura che evidenzia come la diffusione di *C. glomerata* sia strettamente legata al peggioramento qualitativo delle acque e, in particolare all'aumento della disponibilità di fosforo. Tra le spermatofite, la specie maggiormente rappresentata (numero medio di stazioni colonizzate 21) è *Myriophyllum spicatum*, un'entità ad ampia valenza ecologica considerata indicatrice di ambienti perturbati.

Tabella 3.14. Rappresentatività delle specie a maggiore distribuzione nei tre anni di monitoraggio.

	Anno		
Specie	2009	2010	2011
Ceratophyllum demersum	18	15	20
Elodea nuttallii	10	11	12
Lagarosiphon major (Ridl.) Moss			10
Myriophyllum spicatum	20	20	23
Najas marina marina	10	11	13
Nasturtium officinale subsp. officinale			11
Paspalum distichum L.			15
Persicaria hydropiper (L.) Spach			13
Phalaris arundinacea subsp. arundinacea			13
Ranunculus trichophyllus trichophyllus	14	15	10
Rorippa amphibia	10	10	15
Vallisneria spiralis L.	17	17	13
Veronica anagallis-aquatica L.		11	13
Zannichellia palustris L. subsp. polycarpa			17
Cladophora sp.	23	23	26
Hydrodictyon reticulatum			17
Oscillatoria sp.	28	28	30
Rhizoclonium sp.			12
Spirogyra sp.	26	26	26

Per ora si è proceduto a una valutazione preliminare dei dati dei tre anni osservando scostamenti localmente notevoli in termini di diversità (cfr. per esempio i risultati per le stazioni 1, 4, 7) o coperture relative (cft. Allegato II) che possono essere da un certo punto di vista considerati espressione di un'estrema variabilità in termini di struttura e composizione delle comunità vegetali tra stazioni (cfr Allegato II). Tali risultati impongono un'accurata procedura di validazione dei dati acquisiti in campo

nei tre anni di sperimentazione mediante una loro ponderazione in relazione al diverso gradiente di accessibilità dei siti tra anni, richiedendo inoltre un'ulteriore accurata analisi dei campioni macroalgali fissati (per una verifica della diversità specifica rilevata e dei rapporti di rappresentatività) oltre a un'approfondita verifica dei dati riportati sulle schede di campo per escludere possibili errori di valutazione in particolare per quanto riguarda le valutazioni spaziali delle coperture e abbondanze dei singoli taxa. Tali attività saranno condotte entro la fine della sperimentazione**.** La percentuale di copertura media complessiva della componente macrofitica (± deviazione standard) è pari al 54 ± 11% per i primi due anni e al 43 ± 16%, con minimi e massimi rispettivamente del 10% e del 105%. La componente maggiormente rappresentata è quella macroalgale (che contribuisce per una quota compresa tra il 72 e l'80% alle percentuali di copertura complessiva) seguita da quella spermatofitica compresa tra il 19 e il 42%. Nel complesso, quindi, dominano taxa che possiamo considerare indicatori di ambienti sottoposti a perturbazioni non trascurabili ed elevati carichi di nutrienti (tabella 3.15).

Escluso pochissime stazioni (1, 4, 7 e 11), le macroalghe dominano incontrastate le comunità di produttori primari con elevatissime percentuali di copertura abbondanza, in oltre il 50% dei tratti indagati rappresentano mediamente tra i tre anni analizzati il 90% e più della copertura macrofitica (fino a rappresentarne il 100%). Procedendo dalle prime stazioni (dall'incile del lago d'Iseo) verso il tratto potamale vero e proprio (nei pressi della foce in Po), si osserva chiaramente una significativa riduzione delle percentuali di copertura delle spermatofite a vantaggio delle forme macroalgali; in particolare si osserva un chiaro comportamento speculare tra le due compagini dominanti le comunità analizzate; rilevando che già a 4 km dall'incile (dalla stazione 8) le cenosi sono dominate da forme macroalgali. I tratti fluviali dove si riconosce una comunità strutturata di piante superiori coincidono con i settori bacinizzati (tabella 3.15 e figura 3.54). In questi tratti la stabilizzazione dei tiranti e l'intensa sedimentazione del particellato sono in grado di originare condizioni adatte all'insediamento di forme macrofitiche tipiche di corpi idrici di tipo lentico (ad es., *Vallisneria spiralis*, *Nuphar lutea*, *Persicaria amphibia*, ecc.) in grado di contrastare più o meno efficacemente le forme macroalgali o fitoplanctoniche. Nei contesti di corrente turbolenta le forme macroalgali filamentose (prevalentemente *Cladophora* e *Spirogyra*) dominano le comunità incontrastate.

Tabella 3.15. Rappresentatività delle specie a maggiore distribuzione.

	2009						2010						2011					
Stazione	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità
1	55	0	0	20	75	11	60	0	0	20	80	11	75	0	0	15	90	20
3	5	0	0	20	25	11	0	0	0	25	25	8	0	0	0	20	20	11
4	70	0	0	30	100	12	70	0	0	35	105	12	30	0	0	10	40	20
6	15	0	0	50	65	15	5	0	0	55	60	15	5	0	0	15	20	12
7	35	0	0	30	70	12	40	0	0	30	70	12	30	0	0	15	45	28
8	+	0	0	45	45	13	0	0	0	45	45	13	0	0	0	10	10	15
11	20	0	0	15	35	9	15	0	0	15	30	9	20	0	0	10	30	15
14	+	0	0	70	70	10	0	0	0	70	70	10	0	0	0	10	10	15
15	20	0	0	40	60	6	20	0	0	40	60	8	15	0	0	15	30	12
16	+	0	0	25	25	4	0	0	0	25	25	4	0	0	0	15	15	11
21	5	0	+	55	60	7	10	0	0	55	65	7	0	0	0	45	45	8
24	+	0	0	75	75	9	0	0	0	75	75	9	5	0	5	50	60	12
25	35	0	0	35	70	10	35	0	0	35	70	10	14	0	0	15	29	17
26	+	0	0	15	15	9	0	0	0	15	15	7	5	0	0	50	55	19

	2009						2010						2011					
Stazione	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità
27	+	0	0	25	25	8	0	0	0	25	25	9	0	0	0	60	60	13
31	+	0	0	75	75	6	0	0	0	75	75	7	0	0	0	80	80	24
32	20	0	0	75	95	6	20	0	0	75	95	7	35	0	0	15	50	18
35	5	0	+	85	90	16	5	0	0	85	90	16	5	0	0	80	85	24
36	+	0	+	70	70	11	0	0	0	70	70	12	0	0	0	95	95	23
39	+	0	0	80	90	12	0	5	0	80	85	13	0	0	0	95	95	19
42	0	0	+	75	75	21	0	0	0	75	75	19	10	0	0	90	100	33
47	+	0	+	25	25	6	0	0	0	25	25	8	5	0	0	10	15	6
59	+	0	0	45	45	8	0	5	0	45	50	8	0	5	0	10	15	8
62	15	0	0	25	40	14	15	0	0	25	40	14	30	0	0	15	45	15
63	15	0	+	35	50	14	10	0	0	35	45	14	25	0	5	10	40	15
68	+	0	0	10	10	10	0	0	0	10	10	10	10	0	0	10	20	12
73	+	0	0	45	45	11	0	0	0	45	45	11	0	0	0	25	25	17
77	+	0	+	15	15	13	0	0	0	15	15	13	5	0	0	15	20	14
78	+	0	0	35	35	10	0	0	0	35	35	10	10	0	0	10	20	11
80	+	+	0	30	30	11	0	0	0	30	30	12	0	0	5	10	15	9
M	23	0	0	43	54	11	10	0	0	43	54	11	11	0	1	31	43	16
SD	20	0	0	23	26	4	18	1	0	23	26	3	16	1	2	29	29	6
ES	4	0	0	4	5	1	3	0	0	4	5	1	3	0	0	5	5	1
Max	70	0	0	85	100	21	70	5	0	85	105	19	75	5	5	95	100	33
Min	0	0	0	10	10	4	0	0	0	10	10	4	0	0	0	10	10	6

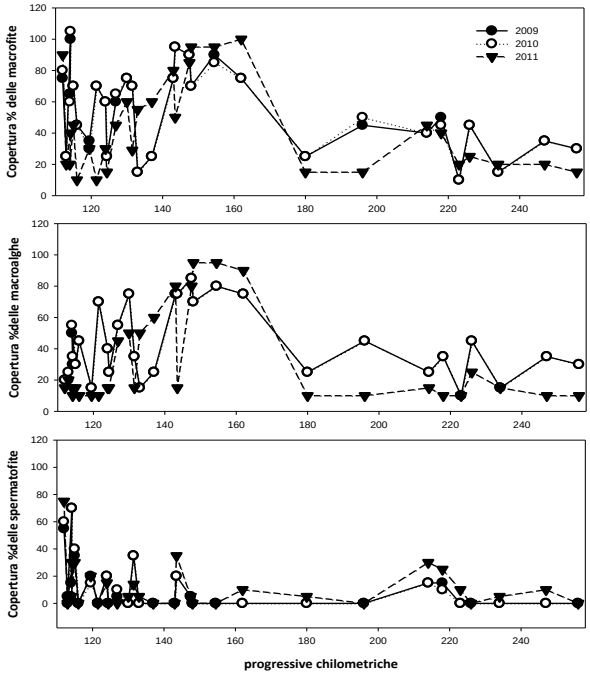


Figura 3.54. I grafici riportano i trend delle copertura-abbondanza % della comunità macrofitica complessiva (in alto) e i singoli contributi delle componenti macroalgale e spermatofitica, i dati si riferiscono ai tre anni di sperimentazione.