3. MONITORAGGIO DELL' ITTIOFAUNA

Al termine del terzo anno di Sperimentazione l'indagine ittiologica ha ulteriormente sviluppato le conoscenze legate alla comunità ittica popolante il fiume Oglio sublacuale, alla distribuzione e stato di salute delle singole specie e alle pressioni che ne limitano lo sviluppo.

Al completamento della doppia campagna annuale (estate 2011 e primavera 2012) è stato quindi possibile accertare in maniera univoca lo stato dell'ittiofauna, permettendo le prime valutazioni d'insieme sullo stato della comunità ittica del fiume e sull'influenza dei deflussi modificati dal regime sperimentale. In questa relazione saranno in ogni caso riportati i risultati e i dati del terzo anno di ricerca, rimandando alla relazione del triennio le valutazioni complessive.

I censimenti relativi al terzo anno di sperimentazione si sono svolti in 2 distinte campagne di monitoraggio:

- Campagna 09/11 agosto 2011 – 24 stazioni di 24 previste
- Campagna 12/12: aprile-maggio 2012 – 21 stazioni di 37 previste

3.1 CAMPAGNA n. 09/2011

Le attività per la realizzazione della quinta campagna di monitoraggio dell'ittiofauna nell'ambito della "*Sperimentazione per il rilascio del DMV del fiume Oglio sublacuale*", coincidente con la campagna 09/11, si sono svolte nel mese di agosto 2011 ed hanno portato al campionamento delle 24 stazioni previste, senza evidenziare problematiche particolari o difficoltà di censimento.

3.1.1.- Stazioni censite durante la campagna 09/11

- FN01A: a monte della diga di Sarnico
- STA03: a valle del torrente Guerna
- FN07A: a valle della restituzione N.K. Capriolo
- STC08: tratto sotteso centrale ENEL Tagliuno
- FN15A: a valle della seriola Castrina
- STE18: a valle del depuratore di Palazzolo
- FN21A: a valle del fiume Cherio
- STF26: tratto sotteso centrale di Urago
- FN27A: a valle roggia Antegnata
- FN28A: a monte del depuratore di Calcio
- FS31A: a monte del depuratore di Rudiano
- FS38A: a valle del ponte della tangenziale Orzinuovi – Soncino
- FS39A: Bosco di Barco
- FS42A: a valle dello scolmatore di Genivolta
- FS48A: a monte del fiume Strone
- FS52C: a monte del ponte di Seniga
- FS53B: a valle del ponte di Seniga
- FS55A: a valle del fiume Mella
- FS62A: a valle del fiume Gambara
- FS63A: Isola Dovarese
- FS64A: Lanche di Gerre Gavazzi e Runate
- FS67A: Naviglio di Canneto
- FS70A: a valle del fiume Chiese

3.1.2.- Calendario attività

	Agosto 2011									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FN01A										
STA03										
FN07A										
STC08										
FN15A										
STE18										
FN21A										
STF26										
FN27A										
FN28A										
FS31A										
FS38B										
FS39A										
FS42A										
FS44A										
FS48A										
FS52C										
FS53B										
FS55A										
FS62A										
FS63A										
FS64A										
FS67A										
FS70A										

3.1.3.- Stato della comunità ittica

Il completamento della 5° campagna di monitoraggio – 09/11 – ha permesso di poter iniziare ad effettuare le prime valutazioni e considerazioni concrete sullo stato di conservazione, salute e distribuzione della comunità ittica del fiume Oglio sublacuale. Tali osservazioni saranno meglio esplicitate successivamente, ma si riporta fin da ora che, nuovamente, vengono confermate le specie rilevate precedentemente, la loro distribuzione – pur ricordando la naturale migrazione dei soggetti che può far variare la presenza spaziale, ma non la consistenza dei popolamenti – e vengono nuovamente riconfermate le vocazioni ittiche del fiume. In particolare, vi è una assoluta prevalenza delle specie ciprinicole ed un graduale passaggio dalle specie reofile a quelle limnofile da monte a valle. Come detto non si evidenziano significativi cambiamenti nell'assetto e nella costituzione della comunità che rimane più o meno invariabilmente composta dalle stesse specie rilevate nelle campagne precedenti.

I rapporti tra le specie risultano stabili e, data la presenza di novellame, si ritiene che la regola di rilascio applicata non influenzi in maniera negativa la disponibilità di aree di frega né la distribuzione ed accrescimento del pesce. Anzi, soprattutto per il tratto regolato, compreso tra Sarnico e Calcio, si ritiene che la presenza di tratti sottesi a portata ridotta in un fiume monocorsuale, antropizzato e privo di interazioni con ambienti laterali, risulti positiva al fine di generare cambiamenti idraulico-morfologici tali da garantire mesohabitat idonei alle diverse fasi fisiologiche delle specie.

Si creano così differenziazioni idromorfologiche che permettono il mantenimento di una riproduzione attiva in aree di frega idonee, zone di accrescimento e foraggiamento per il novellame e aree di distribuzione e mantenimento. Tali zone, identificabili nei tratti sottesi delle centrali idroelettriche, sono infatti prevalentemente popolate nel periodo estivo da soggetti nati nell'anno e giovanili, e in quello primaverile da riproduttori e soggetti giovanili e subadulti; dimostrano quindi lo svolgimento della tipica attività migratoria che caratterizza questa zoocenosi, ed evidenziano che la strategia di monitoraggio permette di correlare i dati di una stessa popolazione descrivendone le dinamiche in 2 macroperiodi distinti.

Il tratto centrale del fiume, compreso tra Calcio e Pontevico, si caratterizza invece per una morfologia e un assetto biologico tra le specie differente, caratterizzandosi come il tratto qualitativamente migliore, sia a seguito di giudizio esperto, sia tramite l'applicazione dell'indice biologico. Grazie ad una migliore morfologia e strutturazione del fondo, alla presenza di fasce riparie vegetate e ed all'assenza di un impatto alloctono significativo, in questo tratto si riscontrano popolazioni ben strutturate e distribuite, anche di specie target come il pigo (*Rutilus pigus*), la savetta (*Chondrostoma soetta*), il luccio (*Esox lucius*) e la lasca (*Chondrostoma genei*). Anche in questo caso si può anticipare che, grazie al doppio campionamento annuo, si è potuto osservare l'impatto della regola di rilascio, valutando un effetto nullo sulla biologia delle specie e sul mantenimento di habitat e aree di diffusione dei soggetti e delle distinte classi d'età. Valutazioni ulteriori sul potenziale ittiologico del tratto verranno riproposte successivamente e nella relazione conclusiva del triennio. Infatti, al termine dei primi 3 anni di studio, non sono stati rilevati soggetti di trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*) e si ritiene, date le condizioni chimico-fisiche dell'acqua – prevalentemente le temperature – che non sussistano le condizioni ambientali per il mantenimento di una presenza stabile di questa specie. La presenza di risorgive in questo tratto permetterebbe di mitigare notevolmente le temperature estive dell'acqua in uscita dal lago, ma perché se ne possa osservare un effetto significativo, si dovrebbe ridurre considerevolmente il rilascio di acqua proveniente dal bacino lacustre a valle della traversa di Calcio, riducendo così il deflusso di acque calde proveniente dal lago. Tale possibilità sarà in ogni caso da valutare ed eventualmente studiare nel prossimo triennio, permettendo quindi di valutare lo stato termico dell'acqua e capire quale sia il limite ideale di compromesso tra portate e temperature, al fine di diminuire lo stress termico estivo su tutta la fauna ittica in genere.

Il tratto terminale del fiume, identificato tra Pontevico e la confluenza in fiume Po, si caratterizza come quello maggiormente impattato, sia dall'attività antropica, che da uno scompenso biologico dettato dalla massiccia presenza di specie alloctone destrutturanti gli equilibri tra le specie ittiche autoctone. La canalizzazione del corso d'acqua, l'assenza di connessione diretta con aree laterali, la scarsa diversità morfologica e l'assenza di fasce tampone boscate sulle rive, rendono il tratto decisamente poco ospitale per popolamenti ittici vitali e dinamici. Inoltre, la forte presenza di specie alloctone invasive, quali il siluro (*Silurus glanis*), il lucioperca (*Stizostedion lucioperca*), l'aspio (*Aspius aspius*) e l'abramide (*Abramis brama*), riduce ulteriormente la qualità biologica generale dell'ittiofauna, a prescindere da quelli che possono essere eventuali impatti derivabili dalle metodiche di regolazione e rilascio del deflusso minimo vitale.

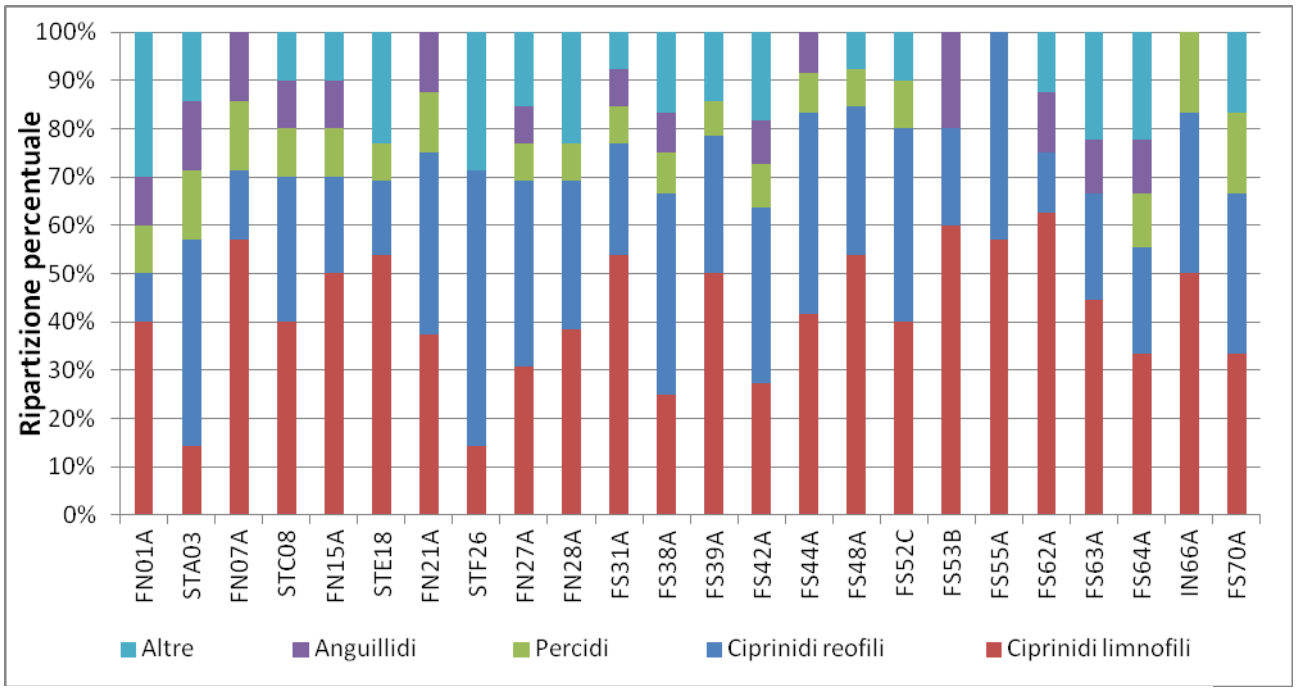


Grafico 3.1.- popolazioni rilevate, distinte per famiglie, nella campagna 09-11

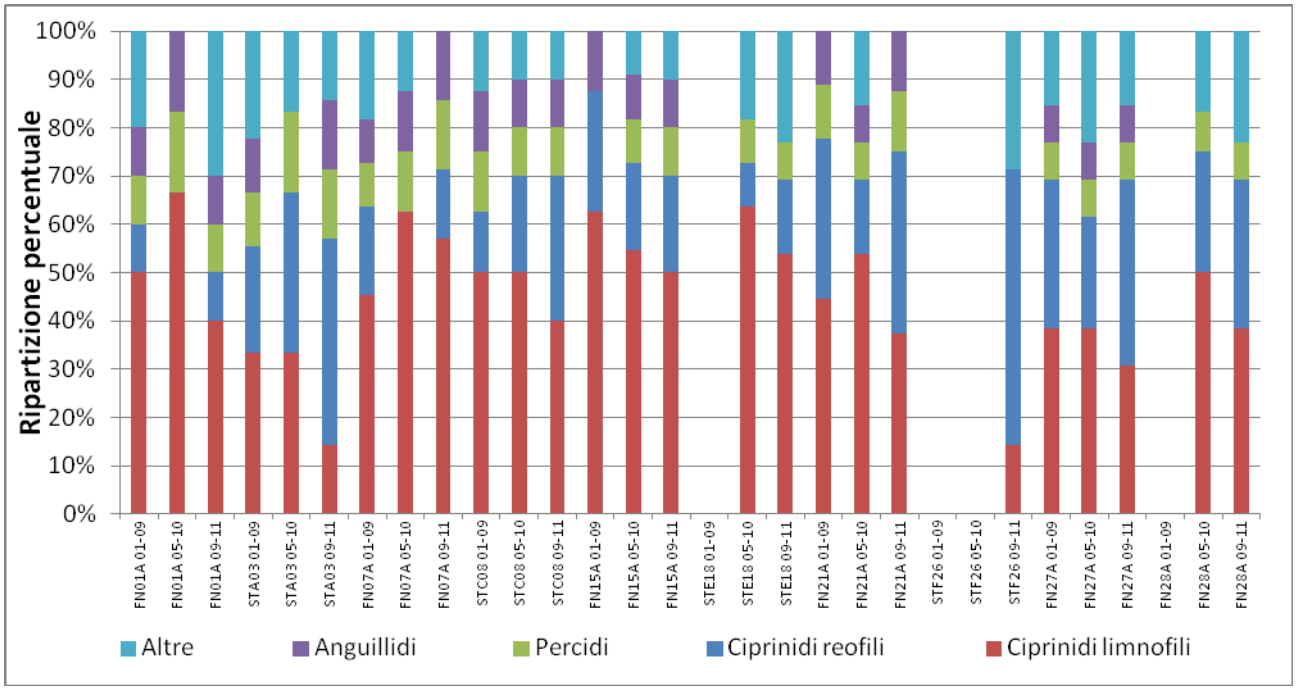


Grafico 3.2.- confronto campagne estive (01-09 05-10 e 09-11) per il tratto tra Sarnico e Calcio

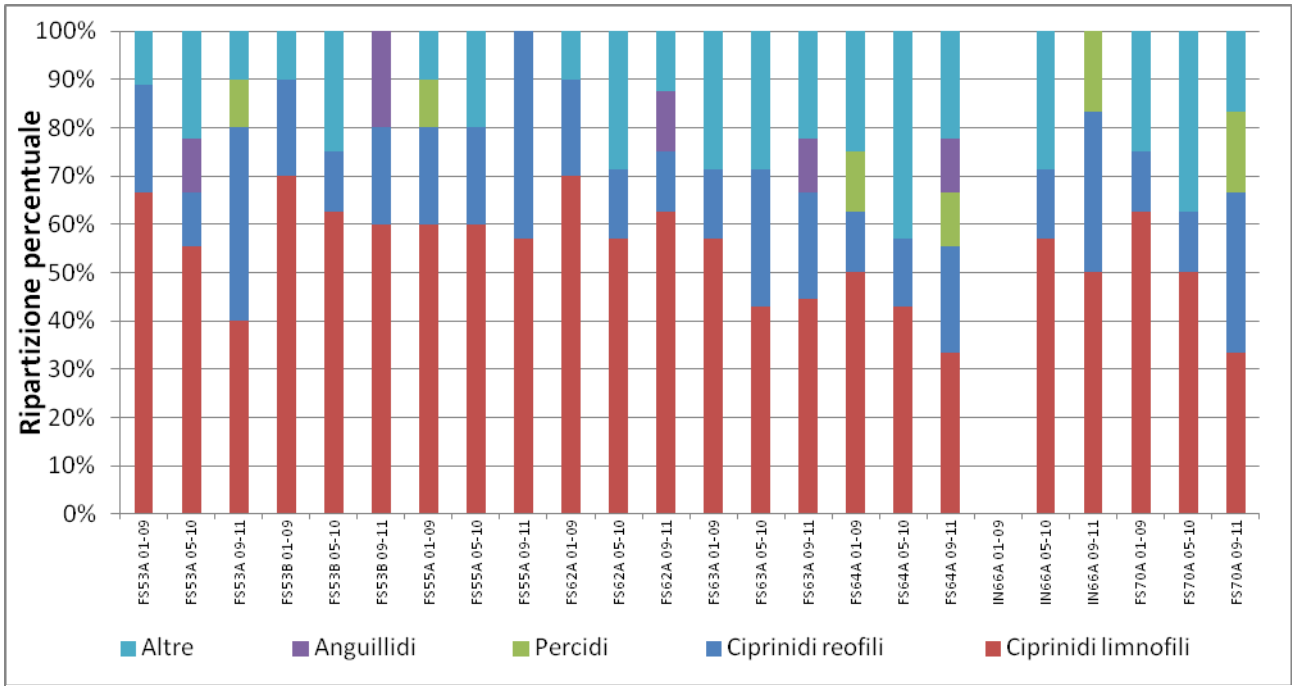


Grafico 3.3.- confronto campagne estive (01-09 05-10 e 09-11) per il tratto tra Calcio e Pontevico

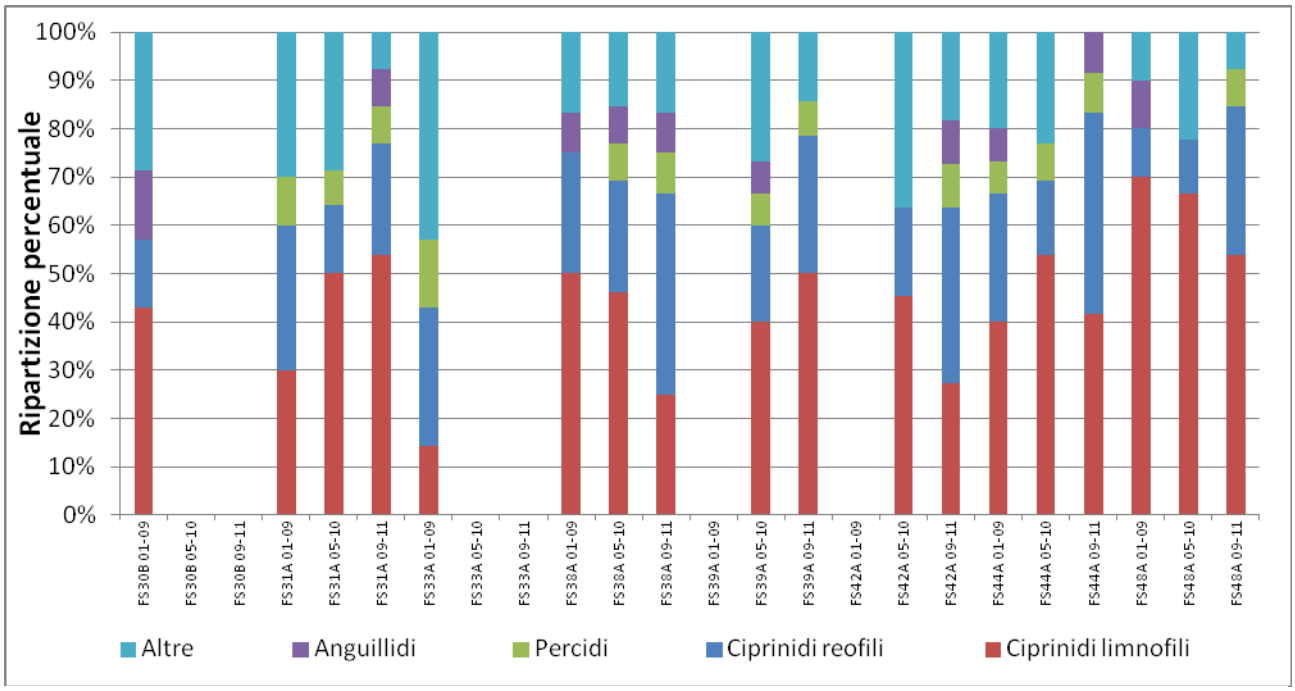


Grafico 3.4.- confronto campagne estive (01-09 05-10 e 09-11) per il tratto tra Pontevico e la confluenza in fiume Po

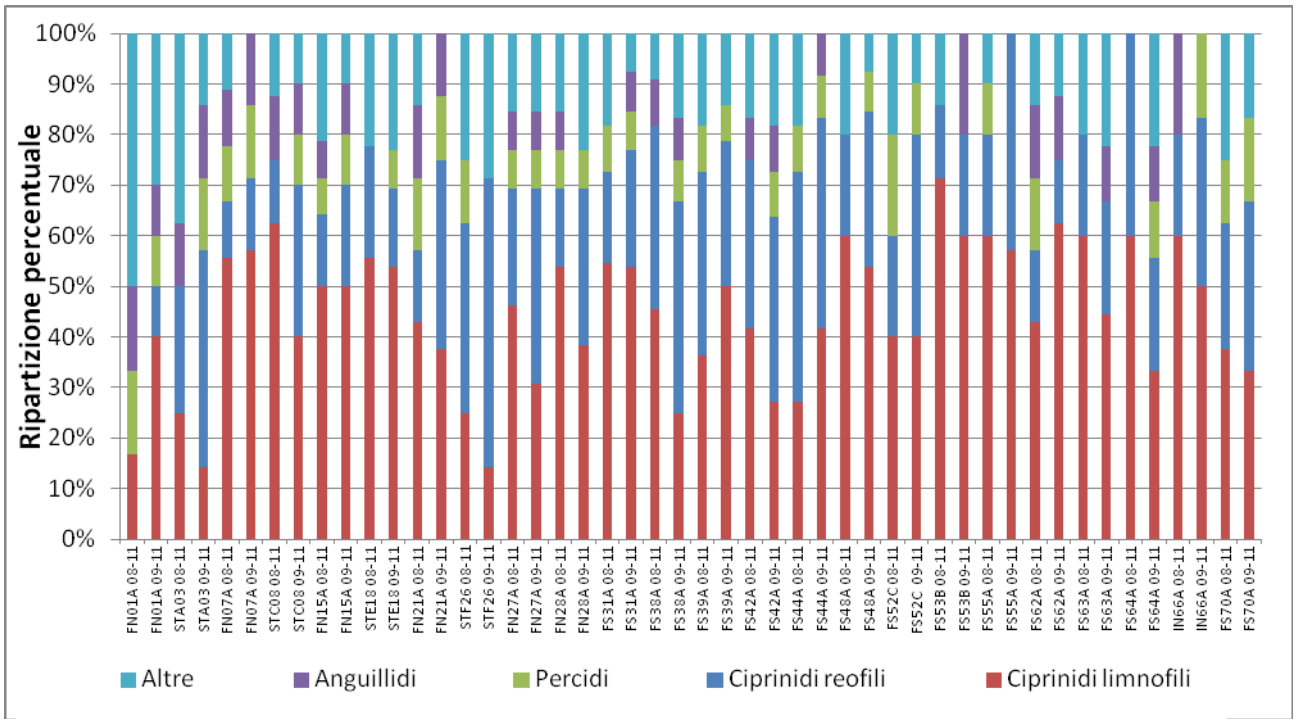


Grafico 3.5,- confronto famiglie tra campagna primaverile 2011 (08-11) ed estiva 2011 (09-11)

Utilizzando la metodologia già impiegata nelle passate relazioni, sono riportati i dati relativi alla distribuzione per famiglie nelle stazioni estive. Il primo grafico riporta il solo dato relativo alla campagna 09-11, mentre i successivi evidenziano il confronto con le campagne estive (grafico 2) e la campagna primaverile del medesimo anno solare (grafico 3). Da essi è possibile osservare come la costituzione per famiglie, con i limiti propri di tale rappresentazione, non evidenzi in ogni caso sostanziali mutamenti tra gli equilibri delle popolazioni che risultano sempre rappresentate da una maggioranza di specie appartenenti alla classe dei Ciprinidi limnofili.

Dato il contesto morfologico e chimico-fisico del fiume e dei tratti indagati, si può quindi affermare che la comunità ittica rilevata risulta in linea con quella attesa. Inoltre, come si vedrà dal grafico delle abbondanze, si può osservare un lieve, ma importante, ritorno di alcune specie che giovano enormemente degli interventi volti al contenimento del siluro (*Silurus glanis*) che, come si vedrà in seguito, sono stati avviati sul fiume.

Come detto, la presenza delle specie alloctone costituisce una realtà allarmante che causa un deperimento significativo delle condizioni di qualità dell'indice fauna ittica. Tale declassamento deriva sia da un'azione diretta, imposta dalla presenza fisica del pesce in fiume, sia da una indiretta, derivante dall'applicazione di malus nell'indice di valutazione.

La presenza del siluro (Silurus glanis), anche nella campagna 09-11 è allarmante, anche se in lieve contrazione grazie alle attività in essere, costituendo il 45,3% della biomassa totale catturata, per 3,64 quintali di peso totale.

Fig. 3.1, giovanili di siluro catturati in FN01A

Fig. 3.2- siluri catturati nella stazione FS44A

3.1.4.- Analisi sintetica dati campagna 09/11

Tratti previsti:	24
Tratti indagati:	24

Specie censite:	31
Specie autoctone:	20
Specie alloctone:	11

N° totale soggetti catturati:	8.108
Biomassa totale catturata (kg):	803,8

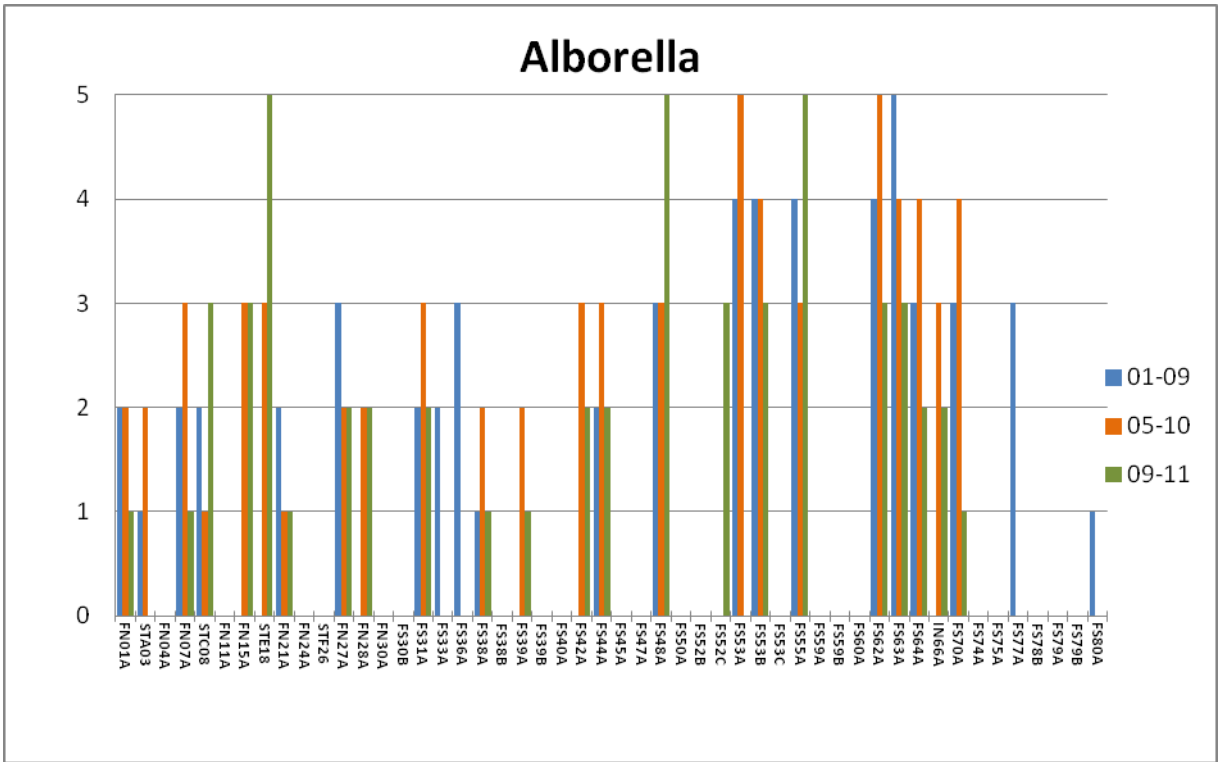
3.2 CONFRONTO TRA CAMPAGNA 01/09, 05/10 E 09/11

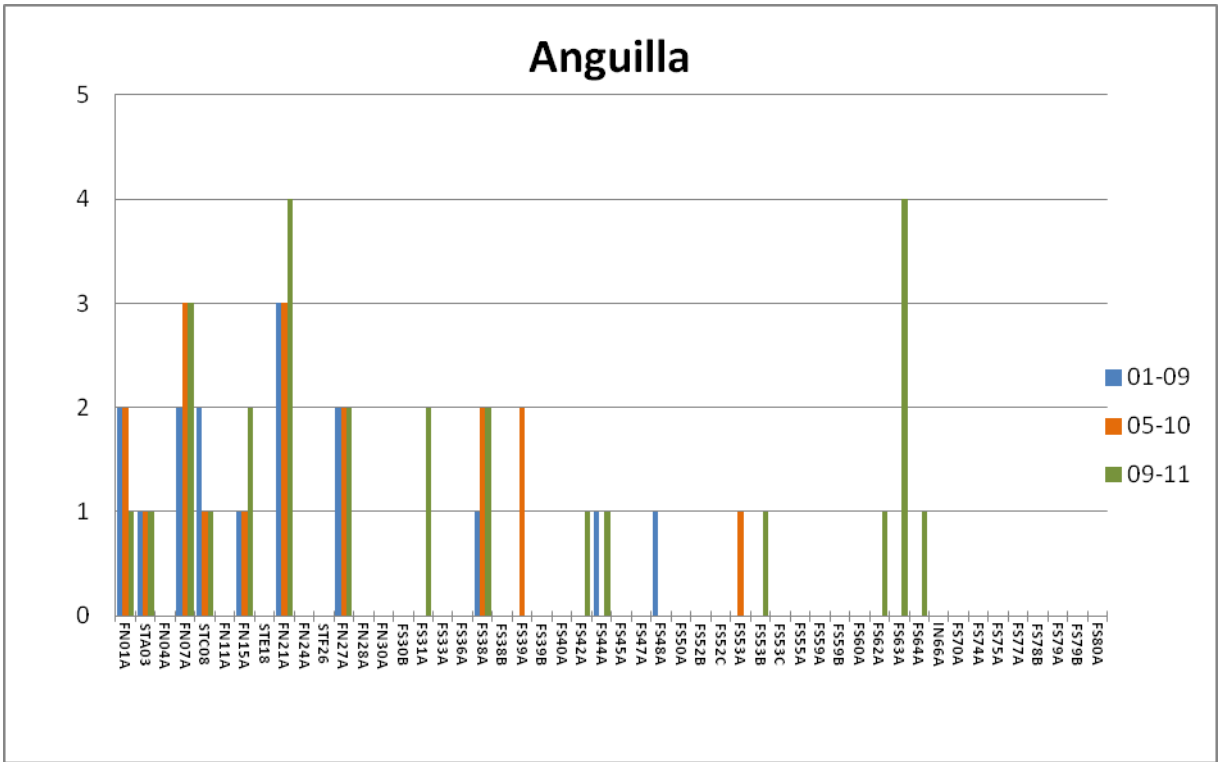
Il confronto tra le 3 campagne estive porta ad osservare un sostanziale mantenimento delle consistenze delle singole popolazioni, sia in termini di distribuzione che abbondanza.

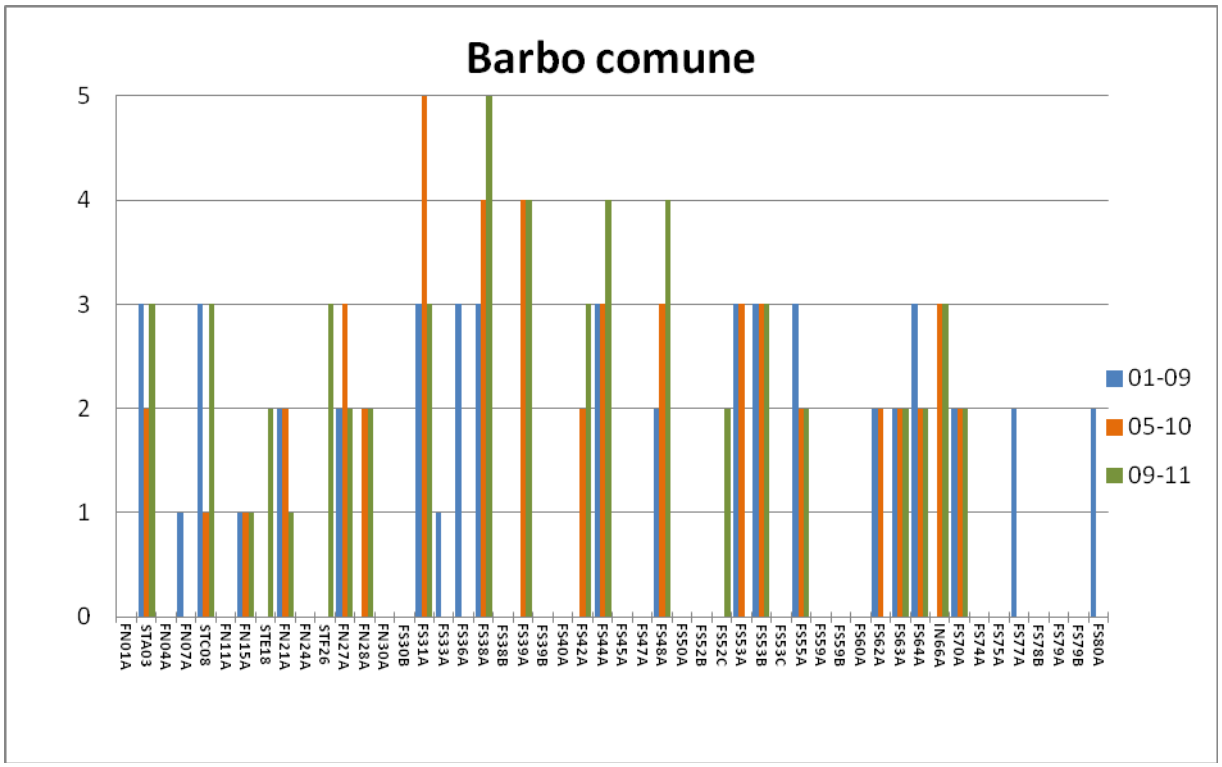
Si riportano a tal proposito i grafici di distribuzione delle principali specie rilevate.

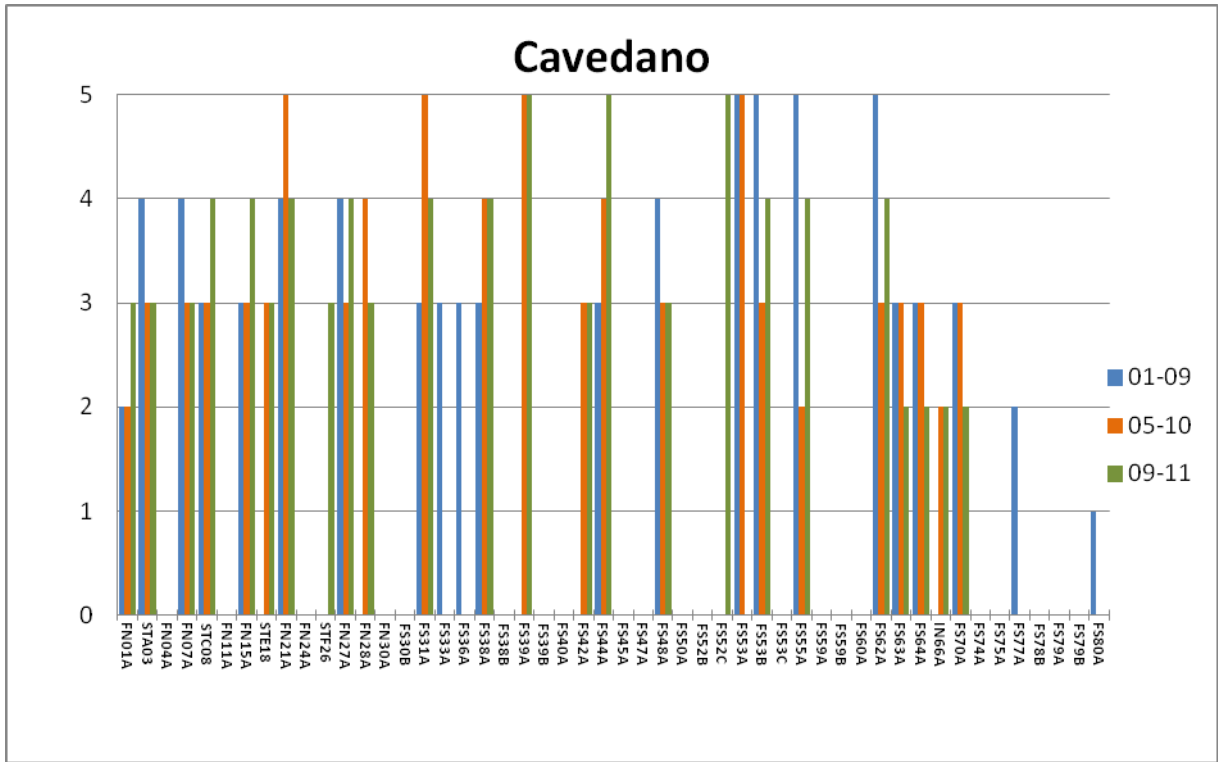
Nei grafici di abbondanza in ordinata sono indicate le stazioni, mentre in ascissa le classi:

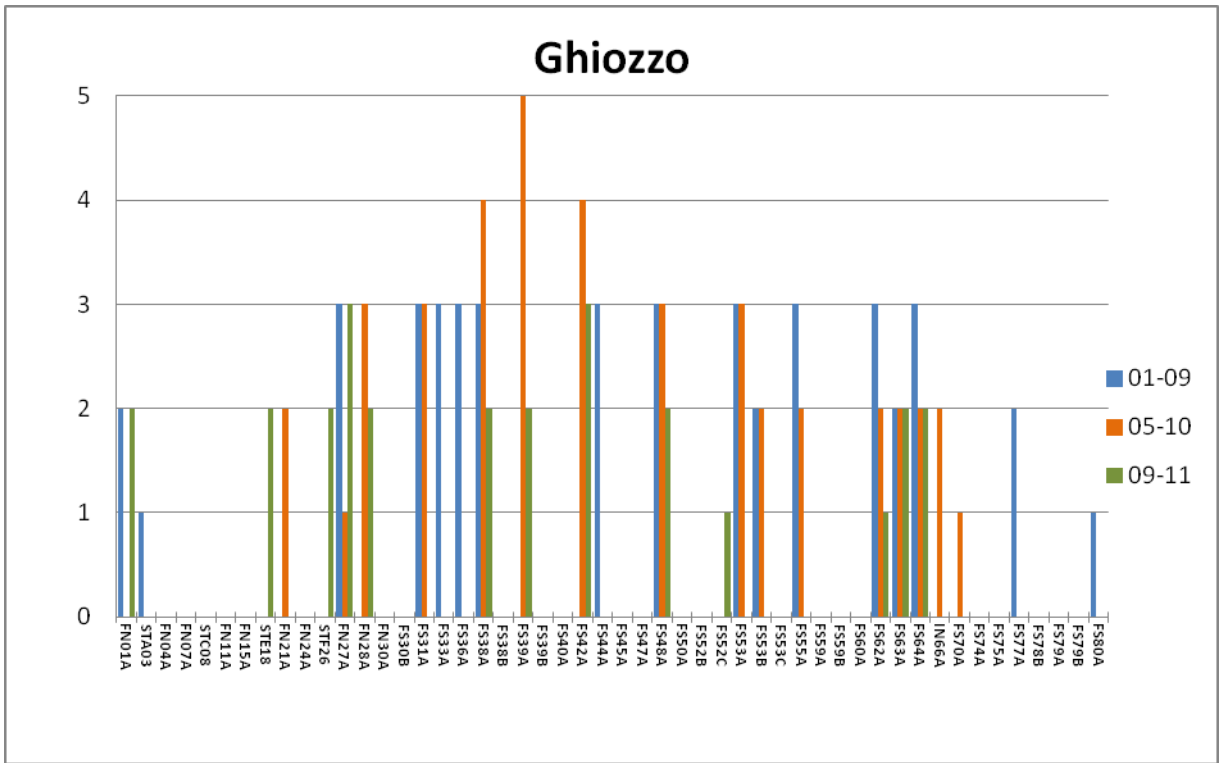
- 0: assente
- 1: raro
- 2: occasionale
- 3: comune
- 4: abbondante
- 5: molto abbondate

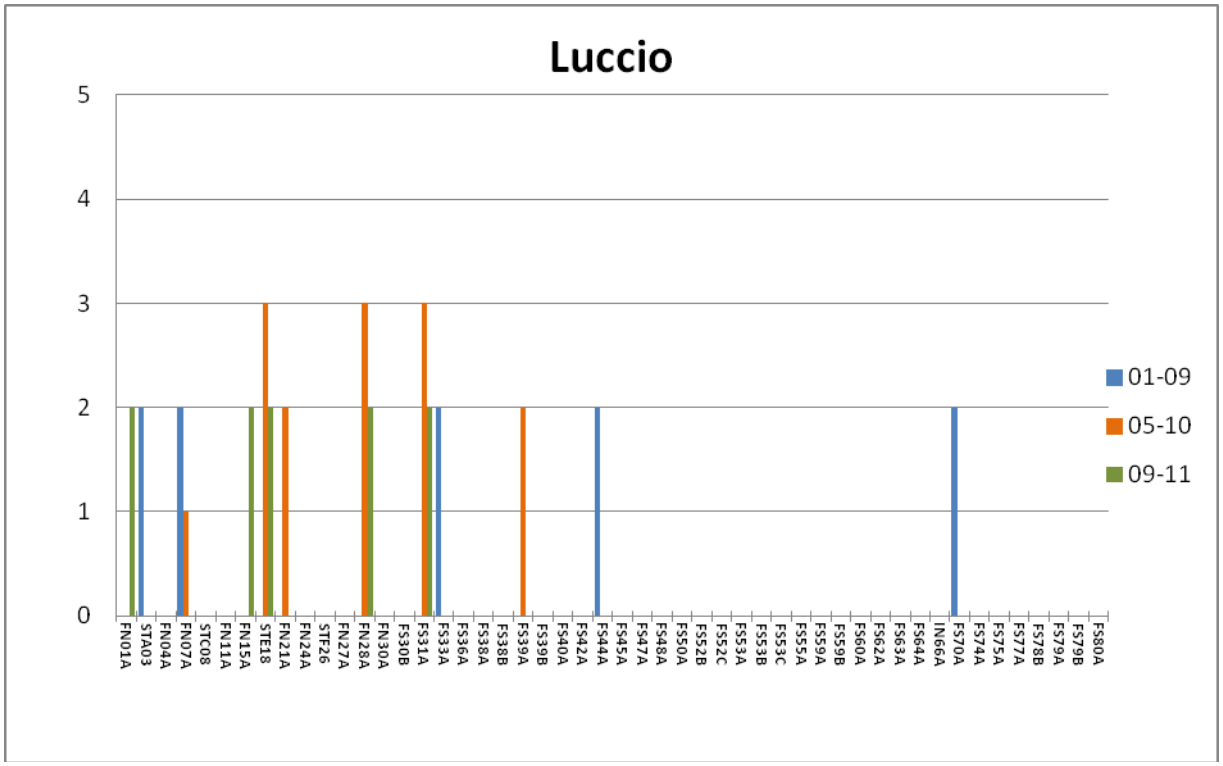

Alborella
5
4
3
2
1
0
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A
01-09
05-10
09-11

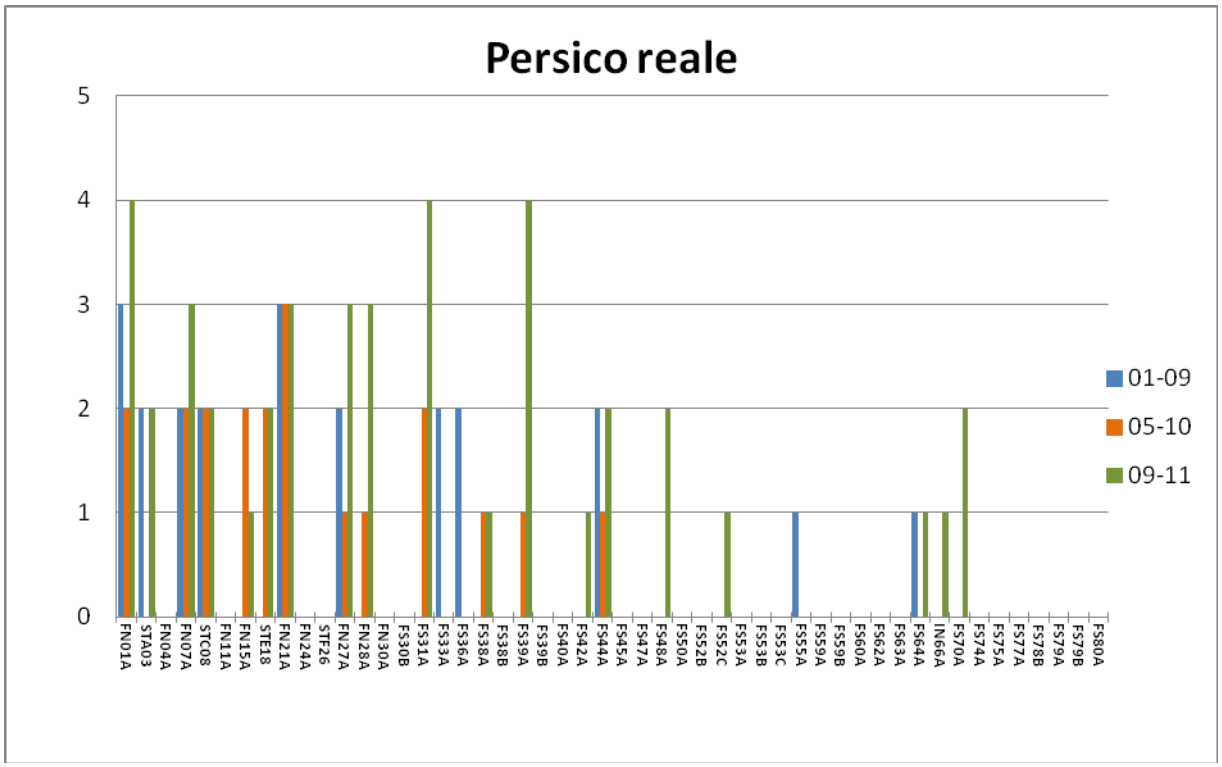

Anguilla
5
4
3
2
1
0
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A
01-09
05-10
09-11

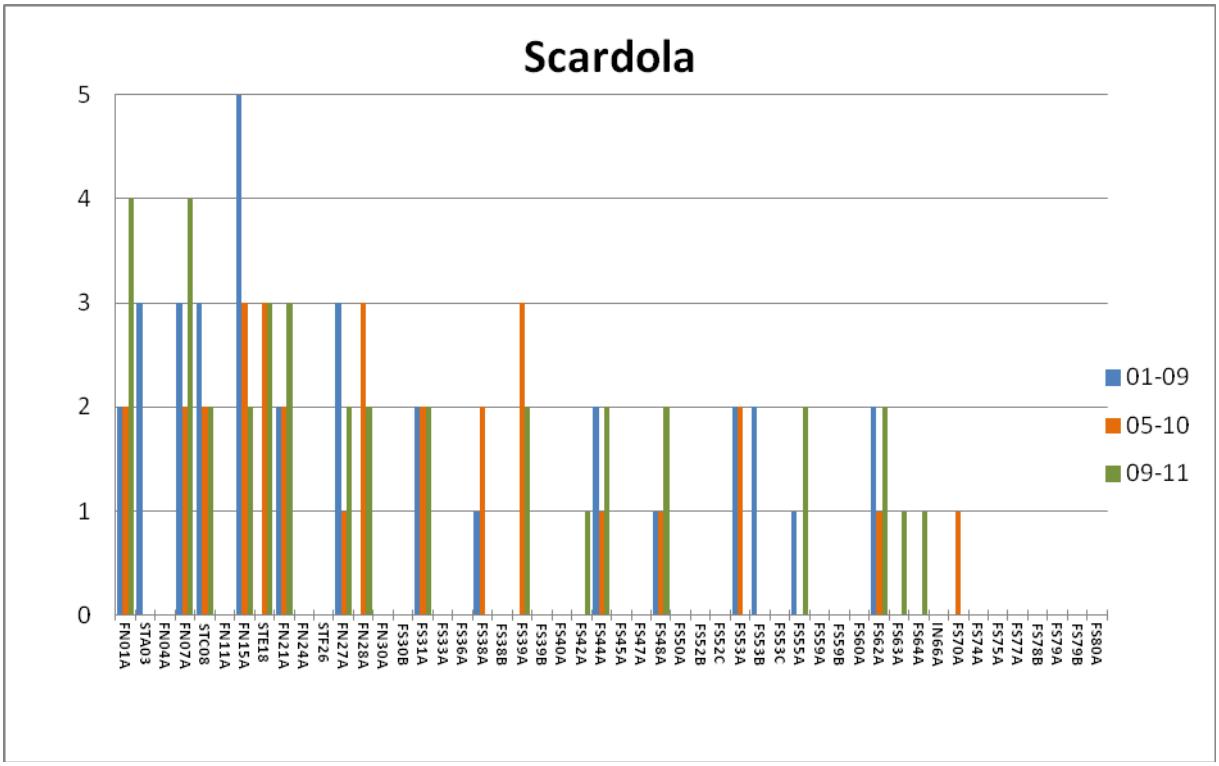

Barbo comune
5
4
3
2
1
0
FN01A STA03 FN04A FN07A STC08 FN11A FN15A STE18 FN21A FN24A STF26 FN27A FN28A FN30A FS30B FS31A FS33A FS36A FS38A FS38B FS39A FS39B FS40A FS42A FS44A FS45A FS47A FS48A FS50A FS52B FS52C FS53A FS53B FS53C FS55A FS59A FS59B FS60A FS62A FS63A FS64A IN66A FS70A FS74A FS75A FS77A FS78B FS79A FS79B FS80A
01-09
05-10
09-11

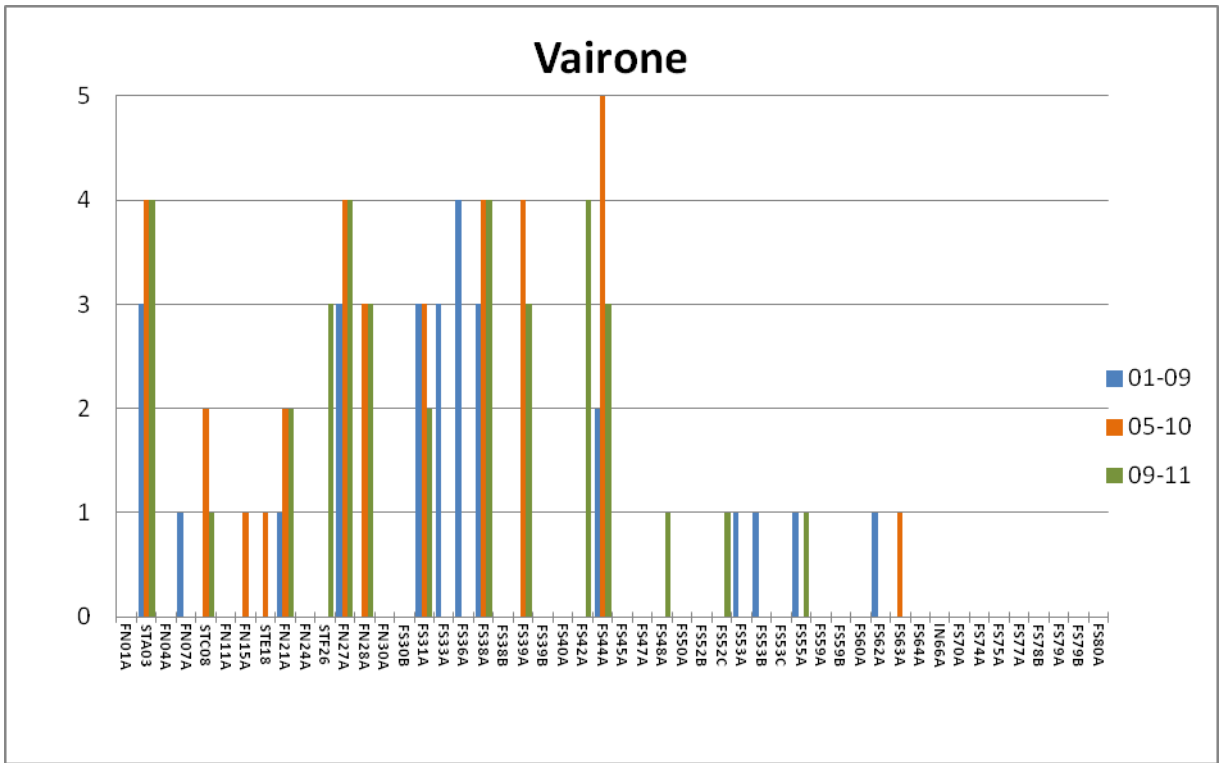

Cavedano
5
4
3
2
1
0
FN01A STA03 FN04A FN07A STC08 FN11A FN15A STE18 FN21A FN24A STF26 FN27A FN28A FN30A FS30B FS31A FS33A FS36A FS38A FS38B FS39A FS39B FS40A FS42A FS44A FS45A FS47A FS48A FS50A FS52B FS52C FS53A FS53B FS53C FS55A FS59A FS59B FS60A FS62A FS63A FS64A IN66A FS70A FS74A FS75A FS77A FS78B FS79A FS79B FS80A
01-09
05-10
09-11


Ghiozzo
5
4
3
2
1
0
01-09
05-10
09-11
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A


Luccio
5
4
3
2
1
0
01-09
05-10
09-11
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A


Persico reale
5
4
3
2
1
0
01-09
05-10
09-11
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A


Scardola
5
4
3
2
1
0
01-09
05-10
09-11
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A



Si può osservare come le principali specie rilevate, appartenenti sia alle specie reofile che a quelle limnofile, si mantengono distribuite nel fiume con variazioni puntuali limitate e non significative, evidenziando una distribuzione spaziale nel fiume più o meno costante.

Le uniche due specie che evidenziano variazioni sono:

- ghiozzo: soprattutto nel tratto centrale, ove si rileva con presenza ed abbondanza diminuite. Tale condizione è da valutare e mantenere studiata, infatti in questi tratti, durante il periodo estivo, si evidenzia un aumento di portata rispetto lo storico passato, quando il fiume risultava costituito prevalentemente da acque di risorgiva (prima del 2008), va quindi studiato se il cambiamento della popolazione risulta dovuto ai cambiamenti ambientali o a condizioni di naturale variazione ciclica del popolamento.
- Persico reale: evidenzia un apprezzabile aumento, sia in termini spaziali che di abbondanza, permettendo di valutare positivamente l'andamento dei deflussi, rilevando che, su una specie sensibile come questa, non sta evidenziando impatti limitanti.

Abbondanze delle singole specie rilevate nella campagna 09/11

Specie	FN01A	STA03	FN07A	STC08	FN15A	STE18	FN21A	STF26	FN27A	FN28A	FS31A	FS38A	FS39A	FS42A	FS44A	FS48A	FS52C	FS53B	FS55A	FS62A	FS63A	FS64A	IN66A	FS70A
Abramide	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	-	-
Alborella	R/N	-	R/N	C/S	C/S	M/S	R/N	-	O/N	O/N	O/N	R/N	R/N	O/N	O/N	M/S	C/S	C/S	M/S	C/S	C/S	O/N	O/N	R/N
Anguilla	R/N	R/N	C/A	R/N	O/N	-	A/A	-	O/N	-	O/N	O/N	-	R/N	R/N	-	-	R/N	-	R/N	A/A	R/N	-	-
Aspio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	R/N	R/N	O/N
Barbo comune	-	C/S	-	C/S	R/N	O/N	R/N	C/S	O/N	O/N	C/S	M/A	A/S	C/S	A/S	A/S	O/N	C/S	O/N	-	O/N	O/N	C/G	O/N
Blicca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carassio	-	-	-	-	-	R/N	R/N	-	O/N	R/N	O/N	-	-	-	O/N	O/N	-	O/N	O/N	C/S	R/N	O/N	-	-
Carpa regina	-	-	-	-	-	C/A	R/N	-	-	-	C/A	-	-	R/N	R/N	O/N	R/N	O/A	O/A	O/N	R/N	R/N	O/N	O/N
Cavedano	C/S	C/S	C/S	A/S	A/S	C/S	A/S	C/S	A/S	C/S	A/S	A/S	M/S	C/S	M/S	C/S	M/S	A/S	A/S	A/S	O/N	O/N	O/N	O/N
Cefalo calamita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	O/N	-	R/N
Cobite	O/N	R/N	-	-	-	O/N	-	R/N	O/N	R/N	-	R/N	C/S	C/S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gambusia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gardon	-	-	-	R/N	R/N	R/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ghiozzo	O/N	-	-	-	-	O/N	-	O/N	C/S	O/N	-	O/N	O/N	C/S	-	O/N	R/N	-	-	R/N	O/N	O/N	-	-
Gobione	-	-	-	-	-	C/S	-	R/N	-	-	C/S	-	O/N	-	R/N	O/N	O/N	-	O/N	R/N	-	R/N	O/N	-
Lasca	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	-	-	O/N	C/S	-	C/S	R/N	R/N	-	-	-	-	-	-	-
Luccio	O/N	-	-	-	O/N	O/N	-	-	-	O/N	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lucioperca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	-	-	O/N
Misgurno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	-	-	O/N	-	-	-	-	-	-	-
Persico reale	A/S	O/N	C/S	O/N	R/N	O/N	C/S	-	C/A	C/S	A/S	R/N	A/S	R/N	O/N	O/N	R/N	-	-	-	-	R/N	R/N	O/N
Persico sole	C/S	-	O/N	O/N	C/S	O/N	-	-	R/N	R/N	O/N	-	O/N	R/N	-	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-
Persico trota	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesce gatto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pigo	-	-	-	-	R/N	-	-	-	-	R/N	R/N	-	R/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pseudorasbora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	-	-	O/N	O/N	O/S	O/N	O/N	O/N	O/N	O/N	O/N
Rodeo amaro	O/N	-	O/N	O/N	M/A	O/N	-	-	O/N	O/N	R/N	-	C/S	O/N	C/S	M/S	A/S	M/S	O/N	C/S	C/S	O/N	O/N	O/N
Sanguinerola	-	-	-	-	-	-	-	C/S	O/N	O/N	-	R/N	-	C/S	R/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Savetta	-	-	-	R/N	O/N	O/N	-	-	-	-	R/N	-	O/N	-	-	O/N	R/N	O/N	-	O/N	R/N	-	-	-
Scardola	A/S	-	A/S	O/N	O/N	C/S	C/S	-	O/N	O/N	O/N	-	O/N	R/N	O/N	O/N	-	-	O/N	O/N	R/N	R/N	-	-
Scazzone	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siluro	O/N	R/N	C/S	O/N	O/N	O/N	C/S	-	C/S	C/S	C/S	C/S	-	O/N	M/S	O/N	C/S	A/S	C/S	C/S	A/S	O/N	C/S	O/N
Trota fario	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tinca	O/N	-	R/N	R/N	-	O/N	-	-	R/N	R/N	-	O/N	R/N	-	-	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-
Triotto	O/N	R/N	M/S	O/N	M/S	A/S	-	-	C/S	O/N	O/N	C/S	O/N	-	O/N	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-
Trota iridea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vairone	-		-	R/N	-	-	O/N	C/S	A/S	C/S	O/N	A/S	C/S	A/S	C/S	R/N	R/N	-	R/N	-	-	-	-	-

3.2.1 APPLICAZIONE DELL' INDICE ISECI

L'applicazione dell'indice ISECI viene riproposta, come per la passata relazione, con una comunità di riferimento "standard" e una "modificata" secondo le condizioni morfologiche e chimico-fisiche degli habitat. A tal proposito si fa rimando alla "*Relazione del secondo anno*" per approfondire la metodica usata.

I risultati del calcolo sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tab. 3.1- tabella dati ISECI con comunità ittica standard e modificata. Evidenziati in grassetto e con colore grigio le stazioni per cui, applicando la modifica della comunità di riferimento, si osserva un significativo cambio del valore.

Stazione	09-11 normale		09-11 modificato	
	Valore	Classe	Valore	Classe
FN01A	0,59	sufficiente	0,59	sufficiente
STA03	0,41	sufficiente	**0,51**	sufficiente
FN07A	0,42	sufficiente	0,42	sufficiente
STC08	0,41	sufficiente	**0,49**	sufficiente
FN15A	0,36	scarso	**0,42**	sufficiente
STE18	0,38	scarso	**0,48**	sufficiente
FN21A	0,32	scarso	**0,42**	sufficiente
STF26	0,55	sufficiente	**0,69**	buono
FN27A	0,38	scarso	**0,54**	sufficiente
FN28A	0,32	scarso	**0,44**	sufficiente
FS31A	0,32	scarso	**0,42**	sufficiente
FS38A	0,37	scarso	**0,53**	sufficiente
FS39A	0,58	sufficiente	**0,72**	buono
FS42A	0,51	sufficiente	**0,65**	buono
FS44A	0,37	scarso	**0,51**	sufficiente
FS48A	0,47	sufficiente	0,47	sufficiente
1\FS52C	0,36	scarso	0,36	scarso
FS53B	0,31	scarso	0,31	scarso
FS55A	0,31	scarso	0,31	scarso
FS62A	0,27	scarso	0,27	scarso
FS63A	0,26	scarso	0,26	scarso
FS64A	0,36	scarso	0,36	scarso
FS67A	0,24	scarso	0,24	scarso
FS70A	0,34	scarso	0,34	scarso

Cattivo - Scarso - Sufficiente - Buono - Elevato

Al fine di osservare eventuali cambiamenti dello stato qualitativo dell'indice, è stato effettuato un primo confronto tra i dati estivi (tipici del periodo termicamente più critico). A tale scopo, in modo da rendere più sensibile lo strumento ai cambiamenti accumunabili agli impatti derivanti da un DMV, si è

ritenuto di impiegare la comunità ittica di riferimento modificata, tarando la risposta dell'indice sulla comunità realmente popolante il fiume e stabilizzatasi in esso da diversi decenni.

Tab. 3.2- Confronto classi di qualità delle campagne estive

Stazione	01-09		05-10		09-11	
	Valore	Classe	Valore	Classe	Valore	Classe
FN01A	0,45	sufficiente	0,46	sufficiente	0,59	sufficiente
STA03	0,60	sufficiente	0,56	sufficiente	0,51	sufficiente
FN07A	0,51	sufficiente	0,54	sufficiente	0,42	sufficiente
STC08	0,45	sufficiente	0,35	scarso	0,49	sufficiente
FN15A	0,42	sufficiente	0,43	sufficiente	0,42	sufficiente
STE18	-	-	0,30	scarso	0,48	sufficiente
FN21A	0,48	sufficiente	0,38	scarso	0,42	sufficiente
STF26	-	-	-	-	0,69	buono
FN27A	0,66	buono	0,61	buono	0,54	sufficiente
FN28A	-	-	0,44	sufficiente	0,44	sufficiente
FS31A	0,62	buono	0,62	buono	0,42	sufficiente
FS38A	0,62	buono	0,77	buono	0,53	sufficiente
FS39A	-	-	0,68	buono	0,72	buono
FS42A	-	-	0,58	sufficiente	0,65	buono
FS44A	0,64	buono	0,49	sufficiente	0,51	sufficiente
FS48A	0,43	sufficiente	0,37	scarso	0,47	sufficiente
FS52C	-	-	0,30	scarso	0,36	scarso
FS53B	0,36	scarso	0,35	scarso	0,31	scarso
FS55A	0,46	sufficiente	0,35	scarso	0,31	scarso
FS62A	0,35	scarso	0,27	scarso	0,27	scarso
FS63A	0,24	scarso	0,30	scarso	0,26	scarso
FS64A	0,22	scarso	0,19	cattivo	0,36	scarso
FS67A	-	-	0,31	scarso	0,24	scarso
FS70A	0,24	scarso	0,27	scarso	0,34	scarso

Cattivo - Scarso - Sufficiente - Buono - Elevato

La tabella 2 serve a mettere in confronto i valori delle singole stazioni, con relativa classe qualitativa riportata, evidenziando i cambiamenti di classe lungo il corso del fiume durante la campagna (lettura verticale), sia i cambiamenti annuali delle medesime stazioni (lettura orizzontale). In tal modo risulta possibile osservare eventuali variazioni qualitative e valutarne le cause, come si vedrà in seguito uno dei principali motivi per cui si evidenziano variazioni è la sola presenza/assenza del siluro (*Silurus glanis*).

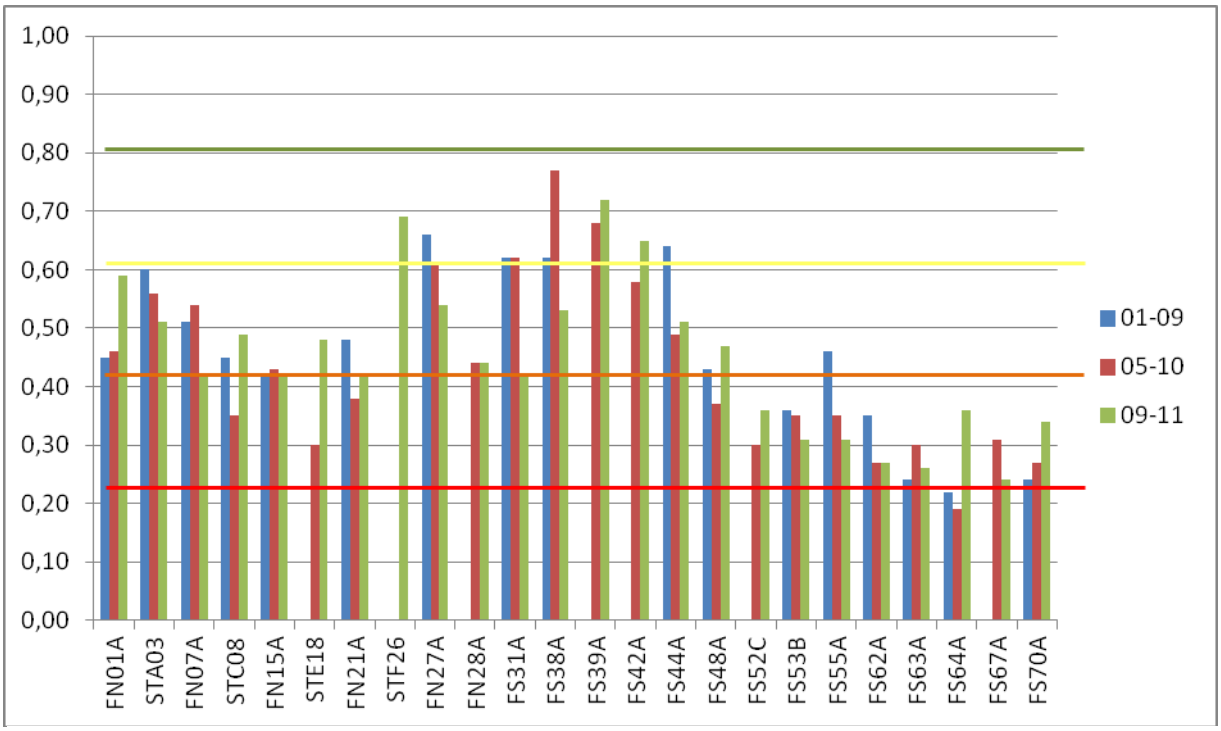


Grafico 3.6.- rappresentazione grafica dei valori di classe ISECI

Il mantenimento dei parametri qualitativi risulta evidente, dimostrando come la comunità ittica si stia mantenendo invariata e non evidenzi sostanziali mutamenti dei propri equilibri, denotando l' assenza di effetti impattanti e destrutturanti gli equilibri ittici riconducibili ad eventuali scenari critici di rilascio.

Infatti, come possibile osservare dalla precedente tabella, i principali impatti sono ascrivibili a cause differenti e completamente svincolate dai deflussi in alveo. Si è già fatta menzione dei limiti morfologici dettati dall'antropizzazione, prevalentemente legati alla regimentazione ed arginatura del fiume ed all'uso agricolo posto fino a ridosso della sponda; anche se in realtà sono gli impatti biologici derivanti della presenza di specie aliene a causare i più evidenti deperimenti dello stato della comunità ittica. Come detto esiste infatti un impatto diretto di queste popolazioni sulla comunità autoctona per via dell'occupazione degli areali, della competizione alimentare e della predazione diretta, oltre che un effetto indiretto che genera un malus dal 10% al 20% del valore dell'indice per la presenza di popolazioni invasive. Per evidenziare ciò, anche al fine di meglio giustificare passaggi di classe negativi tra un anno e l'altro, nella tabella sono state riportate evidenziate in **grassetto rosso** (malus del 20%) le stazioni in cui è stata rilevata un popolazione strutturata di siluro (*Silurus glanis*) e in **grassetto viola** (malus del 10%) dove ne è stata rilevata una presenza non strutturata. Come si può osservare, quindi, la maggior parte dei cambiamenti di classe tra le stazioni è più che altro legata alla migrazione di questa specie all'interno degli habitat fluviali. Infatti, al netto del malus generato dalla presenza del siluro, non si evidenzierebbero sostanziali cambiamenti di classe e, anzi, si riscontrerebbero molte più stazioni aventi una classe qualitativa nettamente più elevata.

Tab. 3.3.- esempio di classificazione in condizioni di non impatto alloctono (siluro)

Stazione	01-09				05-10				09-11			
	Valore ISECI	Valore ISECI senza siluri	Classe ISECI	Classe senza siluro	Valore ISECI	Valore ISECI senza siluri	Classe ISECI	Classe senza siluro	Valore ISECI	Valore ISECI senza siluri	Classe ISECI	Classe senza siluro
FN01A	0,45	0,55	suff	suff	0,46	0,56	suff	suff	0,59	0,69	suff	buono
STA03	0,60	0,60	buono	buono	0,56	0,56	suff	suff	0,51	0,61	suff	buono
FN07A	0,51	0,61	suff	buono	0,54	0,64	suff	buono	0,42	0,62	suff	buono
STC08	0,45	0,55	suff	suff	0,35	0,55	scarso	suff	0,49	0,59	suff	suff
FN15A	0,42	0,52	suff	suff	0,43	0,53	suff	suff	0,42	0,52	suff	suff
STE18	-	-	-	-	0,30	0,50	scarso	suff	0,48	0,58	suff	suff
FN21A	0,48	0,58	suff	suff	0,38	0,58	scarso	suff	0,42	0,62	suff	buono
STF26	-		-	-	-	-	-	-	0,69	0,69	buono	buono
FN27A	0,66	0,76	buono	buono	0,61	0,71	buono	buono	0,54	0,74	suff	buono
FN28A	-	-	-	-	0,44	0,64	suff	buono	0,44	0,64	suff	buono
FS31A	0,62	0,62	buono	buono	0,62	0,62	buono	buono	0,42	0,62	suff	buono
FS38A	0,62	0,62	buono	buono	0,77	0,77	buono	buono	0,53	0,73	suff	buono
FS39A	-	-	-	-	0,68	0,68	buono	buono	0,72	0,72	buono	buono
FS42A	-	-	-	-	0,58	0,68	suff	buono	0,65	0,75	buono	buono
FS44A	0,64	0,74	buono	buono	0,49	0,69	suff	buono	0,51	0,71	suff	buono
FS48A	0,43	0,53	suff	suff	0,37	0,47	scarso	suff	0,47	0,57	suff	suff
FS52C	-	-	-	-	0,30	0,50	scarso	suff	0,36	0,56	scarso	suff
FS53B	0,36	0,46	scarso	suff	0,35	0,55	scarso	suff	0,31	0,51	scarso	suff
FS55A	0,46	0,66	suff	buono	0,35	0,35	scarso	scarso	0,31	0,51	scarso	suff
FS62A	0,35	0,45	scarso	suff	0,27	0,47	scarso	suff	0,27	0,47	scarso	suff
FS63A	0,24	0,34	scarso	scarso	0,30	0,50	scarso	suff	0,26	0,46	scarso	suff
FS64A	0,22	0,32	scarso	scarso	0,19	0,39	cattivo	scarso	0,36	0,46	scarso	suff
FS67A	-	-	-	-	0,31	0,41	scarso	suff	0,24	0,44	scarso	suff
FS70A	0,24	0,24	scarso	scarso	0,27	0,37	scarso	suff	0,34	0,44	scarso	suff

Cattivo - Scarso - Sufficiente - Buono - Elevato
Evidenziato in grigio le stazioni che pur migliorando senza variare la classe di qualità, sono prossime al passaggio di classe

Come più volte ribadito, lo strumento di valutazione ISECI soffre di una sensibilità di lettura inadeguata ai fini della valutazione degli effetti di un DMV, come dimostrato precedentemente. Infatti, al netto del malus imposto dal siluro, è facilmente osservabile che, la reale classe di qualità, risulta nettamente migliore e soprattutto che esiste un trend positivo di miglioramento nei 3 distinti anni di rilievo. Quindi, "pulendo" il dato dal disturbo generato dal siluro, si osserva che le condizioni qualitative del fiume O-

glio sublacuale stanno subendo un lento miglioramento a seguito dell'applicazione dell'attuale schema di rilascio; ciò anche grazie agli interventi fisici di riduzione del siluro che stanno venendo realizzati, sia durante gli interventi per il DMV sull'intera asta fluviale (prelevati 17,88 quintali nel triennio di sperimentazione), sia con i progetti posti in essere nel tratto regolato (prelevati oltre 20 quintali da novembre 2011 a oggi), che permettono una ripresa e ridistribuzione delle specie autoctone.

3.3.- ATTIVITÀ SPERIMENTALE PER LA DEFINIZIONE DI UNA NUOVA METODOLOGIA DI CLASSIFICAZIONE SU BASE ANNUA

L'indagine ittiologica del fiume Oglio prevede la realizzazione di due campagne annue, con lo scopo di disporre di dati esaustivi sulle popolazioni, in grado di descrivere approfonditamente lo stato dell'ittiofauna e gli impatti su di essa esercitabili da una regola di rilascio errata.

Tale scelta metodologica nasce in funzione delle peculiarità tipiche dell'ittiofauna che, naturalmente, è migrante e popola tratti di fiume differenti a seconda del proprio stadio fisiologico:

- riproduzione
- primo accrescimento
- sviluppo
- maturazione sessuale
- foraggiamento
- riposo
- migrazione trofica.

Per tale motivo, essendo l'indagine ittiologica di campo in grado di fornire solamente una fotografia istantanea dello stato rilevato, si è voluto indagare la componente ittica in due momenti distinti, potendo quindi compensare l'assenza di una specie o di classi di taglia della stessa in un dato periodo. Inoltre, essendo la comunità ittica distribuita secondo criteri ambientali facilmente evidenziabili nel fiume Oglio sublacuale, si può ritenere che la fauna rilevata in una serie di stazioni, interconnesse tra loro e morfologicamente e biologicamente simili, possa costituire un'unica comunità popolante il tratto in interesse, all'interno del quale si muove liberamente, ma nel quale mantiene invariate dinamiche ed equilibri.

Con tale finalità si è quindi proceduto alla distinzione di 3 macrotratti all'interno del fiume Oglio sublacuale, già presentati nelle precedenti relazioni, nei quali è stata identificata un'unica comunità ittica, derivante dall'integrazione delle singole popolazioni rilevate durante i campionamenti, cui è poi stato applicato l'indice di qualità.

Tab. 3.4.- suddivisione stazioni in macrotratti

	Stazione	Comune	Località	Prov	Zonazione
Primo macrotratto	FN01A	Sarnico	diga di Sarnico	BG	Fitofila
	STA03	Paratico	a valle del torrente Guerna	BS	Litofila
	FN04A	Paratico	a monte del depuratore di Paratico	BS	Fitofila
	FN07A	Credaro	a valle restituzione N.K.Capriolo	BS	Fitofila
	STC08	Capriolo	tratto sotteso centrale Enel Tagliuno	BS	Litofila
	FN11A	Castelli Calepio	scarico depuratore Molino del Comune	BG	Fitofila
	FN15A	Palazzolo	a valle della Seriola Castrina	BS	Litofila
	STE18	Pontoglio	a valle del depuratore di Palazzolo	BS	Litofila
	FN21A	Palosco	a valle del fiume Cherio	BG	Litofila
	FN24A	Pontoglio	a valle roggia Castellana	BS	Litofila
	STF26	Cividate al Piano	tratto sotteso centrale Urago d'O.	BG	Litofila
	FN27A	Calcio	a valle r. Antegnata	BG	Litofila
	FN28A	Calcio	a monte depuratore di Calcio	BG	Litofila

	FN30A	Calcio	a monte del Naviglio Grande	BG	Litofila
Secondo macrotratto	FS30B	Calcio	a valle del Naviglio Grande	BG	Litofila
	FS31A	Rudiano	a monte depuratore Rudiano	BS	Litofila
	FS33A	Rudiano	a valle depuratore Rudiano e Roggia Molina-	BS	Litofila
	FS36A	Roccafranca	a monte Cavo Suppeditazione	BS	Litofila
	FS38A	Torre Pallavicina	a valle acquacoltura -Torre Pallavicina	BG	Litofila
	FS38B	Torre Pallavicina	a valle ponte tangenziale Orzi-Soncino	BG	Litofila
	FS39A	Orzinuovi	Bosco di Barco	BS	Litofila
	FS39B	Orzinuovi	Bosco di Barco	BS	Litofila
	FS40A	Villachiara	a monte scolmatore di Genivolta - Bosco	BS	Litofila
	FS42A	Genivolta	a valle dello scolmatore di Genivolta	BG	Litofila
	FS44A	Castelvisconti	Castelvisconti	CR	Litofila
	FS45A	Quinzano	a monte della roggia Saverona	BS	Litofila
	FS47A	Verolavecchia	a valle roggia Saverona	BS	Litofila
	FS48A	Pontevico	a monte del fiume Strone	BS	Fitofila
Terzo macrotratto	FS50A	Pontevico	a valle f. Strone e a monte Seriola Pontevi-	BS	Fitofila
	FS52B	Pontevico	a valle Seriola Pontevico	BS	Fitofila
	FS52C	Pontevico	Scandolara Ripa O.	BS	Fitofila
	FS53A	Seniga	a monte ponte Seniga	BS	Fitofila
	FS53B	Seniga	a valle ponte Seniga	BS	Fitofila
	FS53C	Seniga	a monte f. Mella	BS	Fitofila
	FS55A	Gabbioneta Bi-	a valle f. Mella	CR	Fitofila
	FS59A	Ostiano	al ponte di Ostiano	CR	Fitofila
	FS59B	Ostiano	a valle di Ostiano	CR	Fitofila
	FS60A	Volongo	tra Villarocca e Monticelli Ripa O.	CR	Fitofila
	FS62A	Volongo	a valle del fiume Gambara	CR	Fitofila
	FS63A	Isola Dovarese	Isola Dovarese	CR	Fitofila
	FS64A	Drizzona	Lanche di Gerre Gavazzi e Runate	CR	Fitofila
	FS67A	anneto s.O.	a valle del Naviglio di Canneto	MN	Fitofila
	FS70A	Calvatone	a valle del Chiese - 200 m	CR	Fitofila
	FS74A	Calvatone	al ponte vecchio Calvatone - Le Bine	CR	Fitofila
	FS75A	Bozzolo	a monte del Dugale Delmona	MN	Fitofila
	FS77A	Bozzolo	a valle del Dugale Delmona	MN	Fitofila
	FS78B	Bozzolo	al ponte vecchio Marcaria	MN	Fitofila
	FS79A	Gazzuolo	Brede d' Oglio - Belforte	MN	Fitofila
	FS79B	Gazzuolo	Maldinaro	MN	Fitofila
	FS80A	Viadana	ponte di barche a foce in Po	MN	Fitofila

Il primo macrotratto, date le caratteristiche idraulico-morfologiche, è stato distinto in 2 sotto-tratti, rispettivamente costituiti dalle stazioni fitofile e da quelle litofile.

I tre macrotratti identificano la seguente comunità costituente

Tab. 3.5.- comunità rilevata per macrotratto

Specie	1 fitofila	1 litofila	2	3
Abramide	-	-	-	O/N
Alborella	O/N	C/S	C/S	C/S
Anguilla	C/A	C/A	O/A	O/N
Aspio	-	-	-	O/N
Barbo comune	R/N	C/S	A/S	O/N

Blicca	-	-	-	O/N
Carassio	R/N	O/N	R/N	O/N
Carpa regina	O/N	O/A	R/N	O/N
Cavedano	C/S	A/S	A/S	C/S
Cefalo calamita	-	-	-	O/N
Cobite	O/N	O/N	O/N	-
Gambusia	-	-	-	-
Gardon	R/N	-	-	-
Ghiozzo	O/N	C/S	C/S	R/N
Gobione	O/N	O/N	R/N	R/N
Lasca	-	R/N	O/N	-
Luccio	O/N	O/N	R/N	-
Lucioperca	-	-	-	R/N
Misgurno	-	-	-	O/N
Persico reale	C/G	C/S	C/S	R/N
Persico sole	O/N	-	-	-
Persico trota	-	-	-	-
Pesce gatto	-	-	-	-
Pesce gatto afr.	-	-	-	-
Pigo	R/N	R/N	R/N	-
Pseudorasbora	-	-	R/N	O/N
Rodeo amaro	R/N	R/N	R/N	C/S
Sanguinerola	-	O/N	C/S	-
Savetta	-	-	O/N	R/N
Scardola	C/S	A/S	O/N	O/N
Siluro	C/S	C/S	O/N	C/S
Storione cobice	-	-	-	-
T. fario atlantica	-	R/N	-	-
Tinca	O/N	O/N	R/N	-
Triotto	C/S	C/S	O/N	-
Vairone	-	C/S	C/S	-

Al codice alfabetico è stato assegnato un codice numerico compreso tra 0 e 5:

- 0: assente
- 1: raro
- 2: occasionale
- 3: comune
- 4: abbondante
- 5: molto abbondate

La comunità è quindi stata ottenuta mediando i dati complessivi i tutte le stazioni rilevate per macrotratto nelle due singole campagne annue e successivamente mediando i dati così ottenuti, con i seguenti limiti cui è stata riassegnata l'abbondanza:

- 0: assente
- > 0 e < 0,5: raro
- >0,5 e < 2,5: occasionale
- > 2,5 e < 3,5: comune
- > 3,5 e < 4,5: abbondante
- > 4,5: molto abbondante

Rispetto ad una valutazione per giudizio esperto la comunità rilevata risulta leggermente penalizzata per alcune abbondanze, ma nel complesso si rileva comunque ben rappresentativa della condizione della comunità ittica esistente. Nuovamente è la presenza del siluro a generare i malus peggiori, sia in termini di applicazione dell'indice, sia per l'impatto diretto sui popolamenti ittici.

Tali comunità hanno quindi fornito le seguenti classi di qualità ISECI

Tab 3.6.- classi ISECI macrotratti anno 2011, in **grassetto rosso** i valori influenzati dal malus del 20% del siluro e in **grassetto viola** quelli influenzati dal malus del 10%

Sezione	2011			
	Valore	Classe	Media	Classe
1fitofila	0,45	sufficiente	0,53	sufficiente
1litofila	0,62	buono		
2	0,67	buono		
3	0,38	scarso		

Cattivo - Scarso - Sufficiente - Buono - Elevato

Questa metodica di valutazione, al termine di un periodo di prova e taratura, sarà replicata nel prossimo triennio, permettendo di racchiudere in un unico dato lo stato di qualità della comunità ittica del fiume, con il presupposto che l'analisi puntuale risulta significativa solo nel caso di uno studio sito specifico per l'identificazione di un impatto locale e che, quindi, nella valutazione complessiva dello stato di un fiume risulta troppo influenzata da singoli fattori locali. Quindi, l'analisi di una comunità migrante all'interno di un ambiente diversificato ed esteso, ma che costituisce di fatto un unico habitat popolato da specie e classi d'età differenti, sarà costruita attraverso una serie di valutazioni sia sito specifiche, sia per mezzo del raggruppamento sistemico dei dati, identificando una comunità dinamica costituita da tutte le popolazioni rilevate durante il doppio campionamento annuo e dall'integrazione dei dati.

Per mezzo di tale accorpamento sarà quindi possibili mitigare la scarsa sensibilità di lettura dello strumento di valutazione (ISECI), quando applicato a valutazioni di impatti legati alla modulazione dei deflussi, assorbendo quindi piccole variazioni legate a fattori fisiologici, locali o eventi straordinari, e permettendo così di osservare annualmente la variazione di qualità, ed identificare l'impatto derivante dall'applicazione di regole diverse di rilascio. Tali impatti, infatti, risultano o assenti o presenti e, in questo caso, evidenti a causa di un danno significativo agli equilibri ittici. Un grave scostamento dei valori di classe, se non spiegato diversamente, rappresenterebbe quindi un impatto derivante da mutate condizioni ambientali, a questo punto riconducibili alle portate di deflusso.

A titolo di prova si è quindi riportata l'analisi per il solo anno 2011. A seguito della valutazione della validità del metodo e dell'approvazione del Tavolo Tecnico, si procederà all'analisi dei dati di tutti gli anni a disposizione, applicando la metodologia anche ai successivi anni di sperimentazione.

Tab. 3.7.- esempio di classi di qualità al netto del malus imposto dalla presenza del siluro

Sezione	2011 senza siluro			
	Valore	Classe	Media	Classe
1fitofila	0,65	buono	0,68	buono
1litofila	0,72	buono		
2	0,77	buono		
3	0,58	sufficiente		

Cattivo - Scarso - Sufficiente - Buono - Elevato

Con questo esempio si vuole solo dimostrare l'importanza di attuare piani di gestione e contenimento dell'ittiofauna alloctona che, oggi, si dimostra uno dei principali elementi penalizzanti il raggiungimento dei livelli di qualità attesi. Inoltre, come oramai dimostrato, l'applicazione dei deflussi sperimentali non si sta dimostrando penalizzante e non limita la diffusione e sopravvivenza della comunità ittica. Infatti, al netto della presenza del siluro, si evidenzia un significativo trend positivo della classe di qualità ed un deciso mantenimento degli equilibri ittici.

A sostegno di quanto ora riportato si può procedere all'osservazione della costituzione delle singole popolazioni di un tratto. Infatti, analizzando univocamente il dato sito specifico, si è portati spesso ad un'analisi penalizzante le condizioni di una popolazione a causa della tipologia di classi di taglia che sono state rinvenute in una stazione morfologicamente più adatta a un tipo o ad altri. Ad esempio, in tratti con forte corrente e scarsità di rifugi e ombreggiamento, sarà più difficile ritrovare soggetti giovanili. Inoltre, come si vedrà dai grafici seguenti, anche la durata del monitoraggio influisce sulla presenza o assenza di classi di taglia. In primavera sarà più probabile trovare adulti e subadulti, mentre in estate un maggior numero di giovanili, essendo nati nei mesi precedenti.

La distribuzione per classi di taglia è una tipologia di indagine interessante, in quanto rende subito evidente il mutamento dei rapporti tra le classi di taglia, andando a identificare impatti soprattutto sulle classi più giovani. La scomparsa di queste, infatti, sarebbe il primo campanello d'allarme per segnalare uno scompenso tra gli equilibri ittici e la necessità di dover ricercare le cause, tra le quali potrebbero esserci i deflussi in alveo. Il mantenimento delle normali dinamiche di popolazione, invece, indica un sostanziale non mutamento delle condizioni degli habitat e delle popolazioni, permettendo di escludere impatti legati al DMV, ad oggi unica variabile mutata nella gestione degli ultimi anni.

Vengono riportati a titolo di esempio i grafici delle classi di taglia del cavedano nel secondo macrotratto per le campagne 08-11 e 09-11 e, successivamente, come unica popolazione rilevata nell'anno 2011.

Taglia	Numero
1 - 20	0
21 -40	11
41 - 60	71
61 - 80	169
81 - 100	45
101 -	67
121 -	111
141 -	97
161 -	43
181 -	58
201 -	50
221 -	35
241 -	32
261 -	22
281 -	37
301 -	57
351 -	25
401 -	8
451 -	2
> 501	1
Totale	**941**

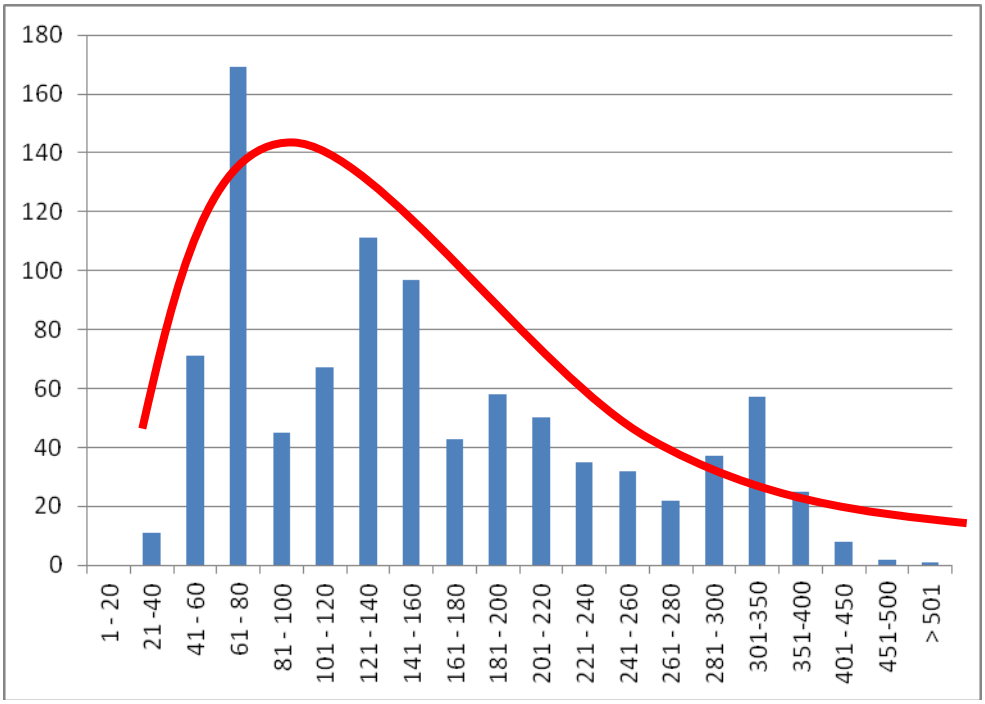


Grafico 3.7.- distribuzione per classi di taglia della popolazione di cavedano rilevata durante la campagna 08-11 nel secondo macrotratto. In rosso la curva ideale di popolazione

Taglia	Numero
1 - 20	0
21 -40	20
41 - 60	78
61 - 80	26
81 - 100	78
101 - 120	91
121 - 140	68
141 - 160	39
161 - 180	82
181 - 200	86
201 - 220	66
221 - 240	25
241 - 260	41
261 - 280	22
281 - 300	24
301 - 350	25
351 - 400	14
401 - 450	11
451 - 500	6
> 501	3
Totale	**805**

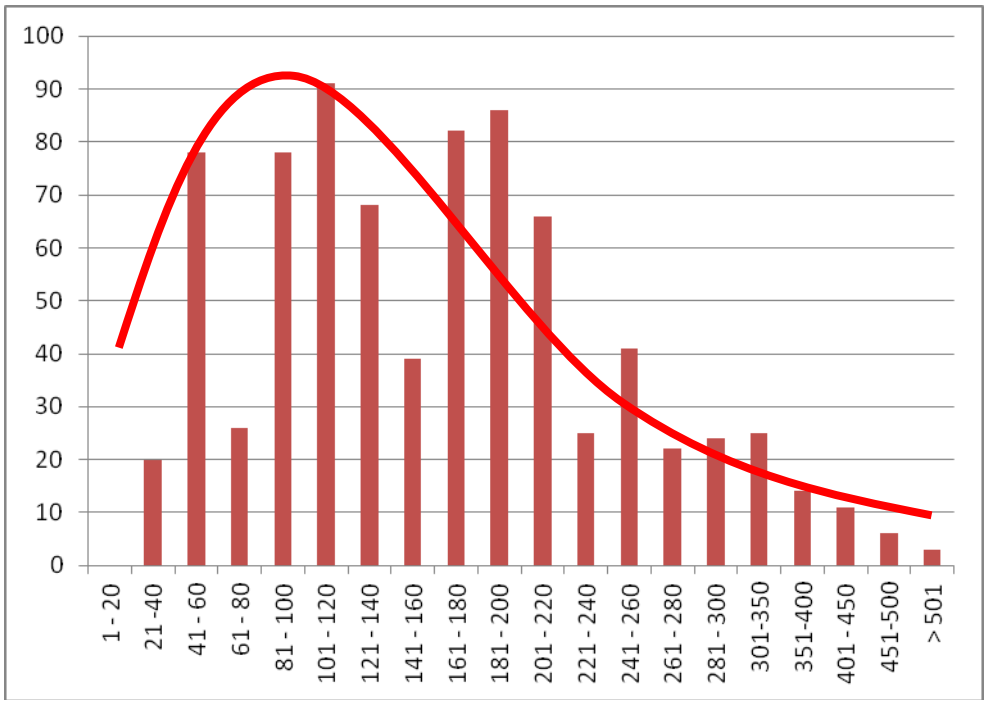


Grafico 3.8.- distribuzione per classi di taglia della popolazione di cavedano rilevata durante la campagna 09-11 nel secondo macrotratto. In rosso la curva ideale di popolazione

Dal secondo grafico si può osservare come la popolazione estiva sia più in linea con quelle ideale per la presenza del giovanile dell'anno nato in primavera.
Allo scopo di integrare e rendere completo il dato di un anno, si uniscono quindi i soggetti delle 2 campagne distinte in un'unica popolazione facente parte la comunità ittica popolante il tratto centrale del fiume.

Taglia	Numero
1 - 20	0
21 -40	31
41 - 60	149
61 - 80	195
81 - 100	123
101 - 120	158
121 - 140	179
141 - 160	136
161 - 180	125
181 - 200	144
201 - 220	116
221 - 240	60
241 - 260	73
261 - 280	44
281 - 300	61
301 - 350	82
351 - 400	39
401 - 450	19
451 - 500	8
> 501	4
Totale	**1.746**

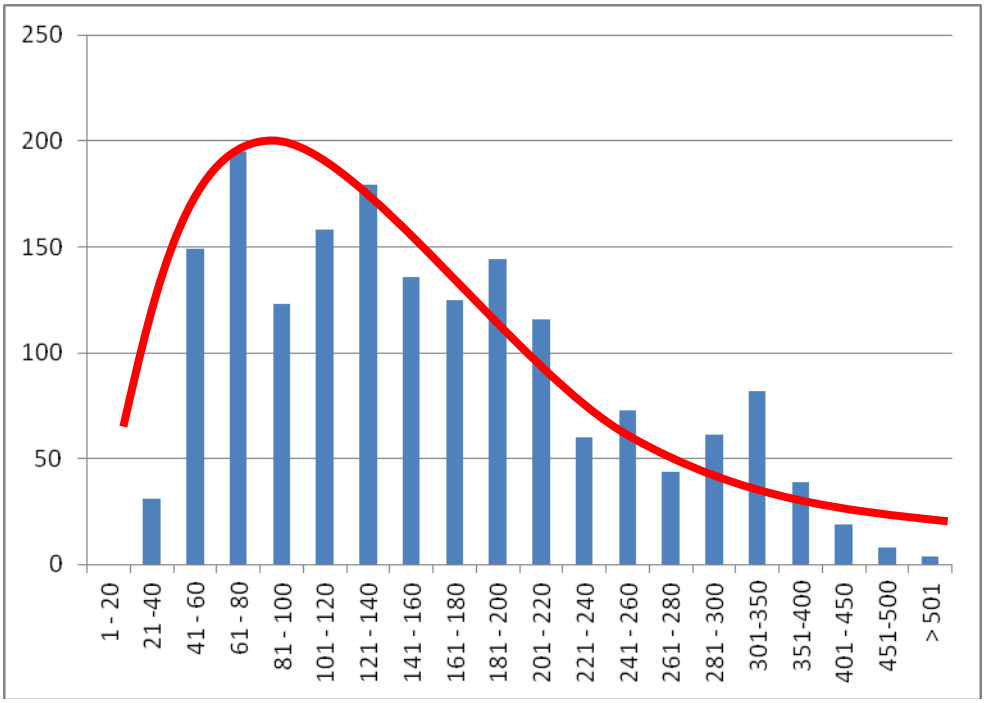


Grafico 3.9.- distribuzione per classi di taglia della popolazione di cavedano rilevata durante l'anno 2011 nel secondo macrotratto. In rosso la curva ideale di popolazione

Come è possibile osservare, la struttura di popolazione complessiva del tratto risulta molto più in linea con la struttura teorica, avendo un dato più completo e non limitato ad un solo periodo temporale. Inoltre, essendo la tipologia di habitat campionati eterogenea, si è in grado di unire informazioni provenienti da ambienti che singolarmente risulterebbero incompleti per l'assenza di soggetti di taglie differenti e di popolazioni strutturate correttamente. Combinando quindi tutte le analisi proposte su base annua per macrotratti, con l'indice qualitativo e l'osservazione delle modificazioni delle classi di taglia (primo indice del mutamento degli equilibri ittici), si potrà essere in grado di valutare gli effettivi impatti conseguenti a modulazioni improprie dei rilasci.

3.4.- CAMPAGNA n. 12/2012

Le attività per la realizzazione della sesta campagna di monitoraggio dell'ittiofauna nell'ambito della "*Sperimentazione per il rilascio del DMV del fiume Oglio sublacuale*", coincidente con la campagna 12/12, si sono svolte nei mesi di aprile e maggio 2011 ed hanno portato al campionamento di 21 stazioni su 37 previste. Infatti, a seguito di condizioni climatiche avverse, non si è potuto eseguire i campionamenti a causa dello stato di disturbo che il fiume accusava a causa delle portate di piena e dell'effetto di dispersione evidenziabile sul pesce a seguito delle condizioni climatico-idrauliche.

3.4.1.- Stazioni censite durante la campagna 12/12

- FN01A: monte della diga di Sarnico
- FN04A: a monte del depuratore di Paratico
- FN07A: a valle della restituzione N.K. Capriolo
- STC08: tratto sotteso centrale ENEL Tagliuno
- FN11A: scarico depuratore Molino del Comune
- FN15A: a valle della seriola Castrina
- STE18: a valle del depuratore di Palazzolo
- FN21A: a valle del fiume Cherio
- FN24A: a valle roggia Castellazza
- FN27A: a valle roggia Antegnata
- FN28A: a monte del depuratore di Calcio
- FN30A: a monte del Naviglio Grande Pallavicino
- FS31A: a monte del depuratore di Rudiano
- FS44A: Castelvisconti
- FS48A: a monte del fiume Strone
- FS50A: a valle del fiume Strone
- FS52C: Scandolara Ripa d'Oglio
- FS53B: a valle del ponte di Seniga
- FS59A: ponte di Ostiano
- FS70A: a valle del fiume Chiese
- FS78B: al ponte vecchio di Marcaria
- FS80A: ponte di barche in foce Po

3.4.2.- Calendario attività

	Aprile								Maggio		
	16	17	18	19	20	21	22	23	14	15	16
FN01A											
FN04A											
FN07A											
STC08											
FN11A											
FN15A											
STE18											
FN21A											
FN24A											
FN27A											
FN28A											
FN30A											
FS31A											
FS44A											
FS48A											
FS52C											
FS53B											
FS59A											
FS70A											
FS78B											
FS80A											

3.4.3.- Stato della comunità ittica

Delle 37 stazioni previste è stato possibile realizzare il censimento solamente di 21. I lavori sono stati più volte sospesi, ma l'effetto di disturbo delle portate elevate, sia sull'operatività di campo che sul pesce, si è protratto a lungo, portando alla decisione di sospendere le attività a metà maggio. I dati raccolti risultano in ogni caso abbastanza significativi per il tratto regolato (fino a stazione FN31A), mentre si ritiene che siano decisamente meno attendibili per i tratti di valle. In ogni caso si ritiene fondamentale l'integrazione con i dati della successiva campagna estiva (la prima del secondo triennio) e la rivalutazione della campagna 12-12 con i rilievi della campagna primaverile successiva. Nonostante quanto premesso, anche in questa campagna, i rapporti tra le specie autoctone risultano pressoché stabili, con variazioni minime, non rivelando sostanziali modificazioni tra gli equilibri ittici e riconfermando quanto precedentemente detto per la campagna 09-11.

Dai dati raccolti e dalle analisi morfologiche e chimico-fisiche dei tratti indagati, si può quindi affermare che la comunità ittica rilevata risulta nuovamente in linea con quella attesa.

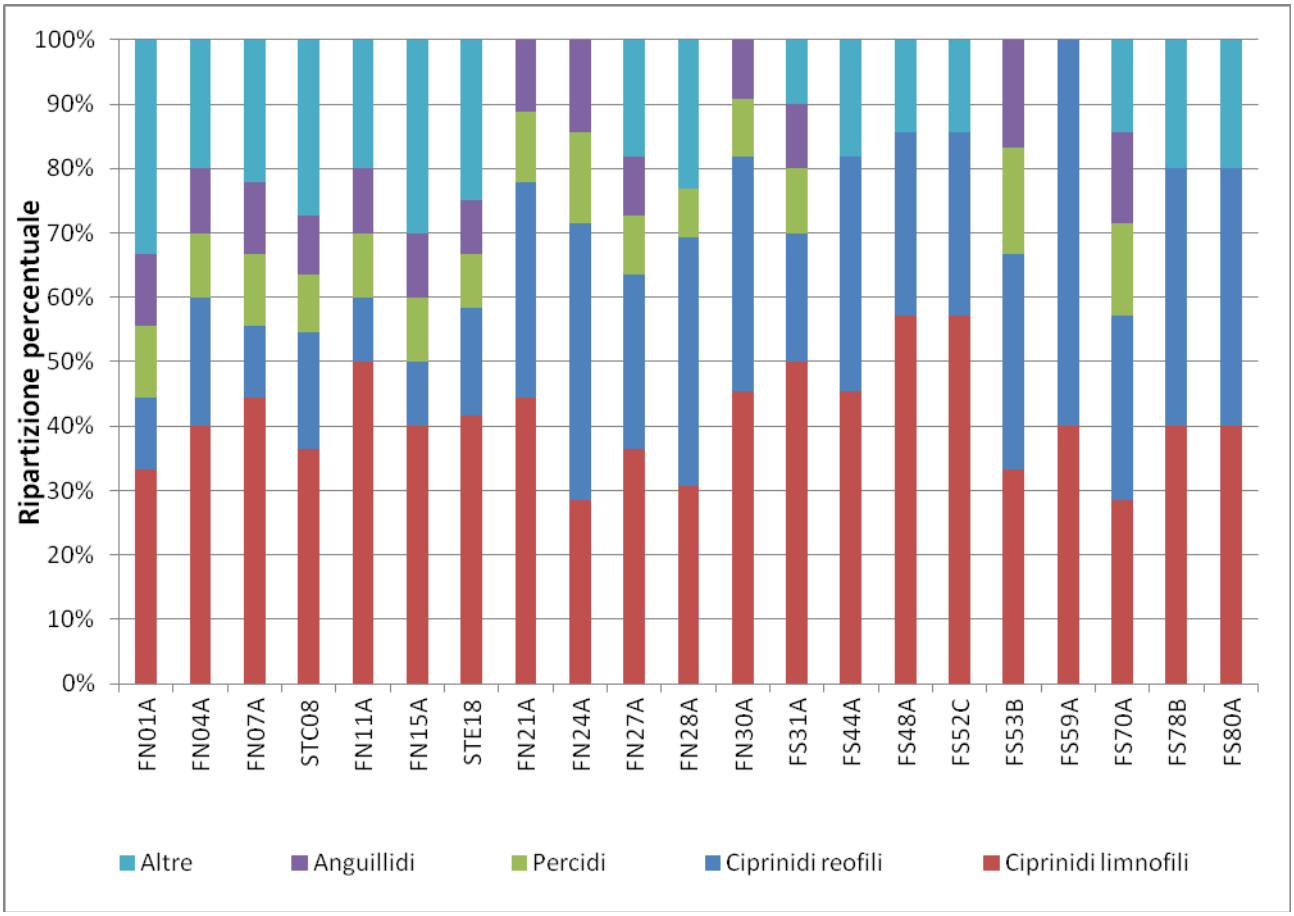


Grafico 3.10.- distribuzione delle famiglie nelle stazioni censite della campagna 12-12

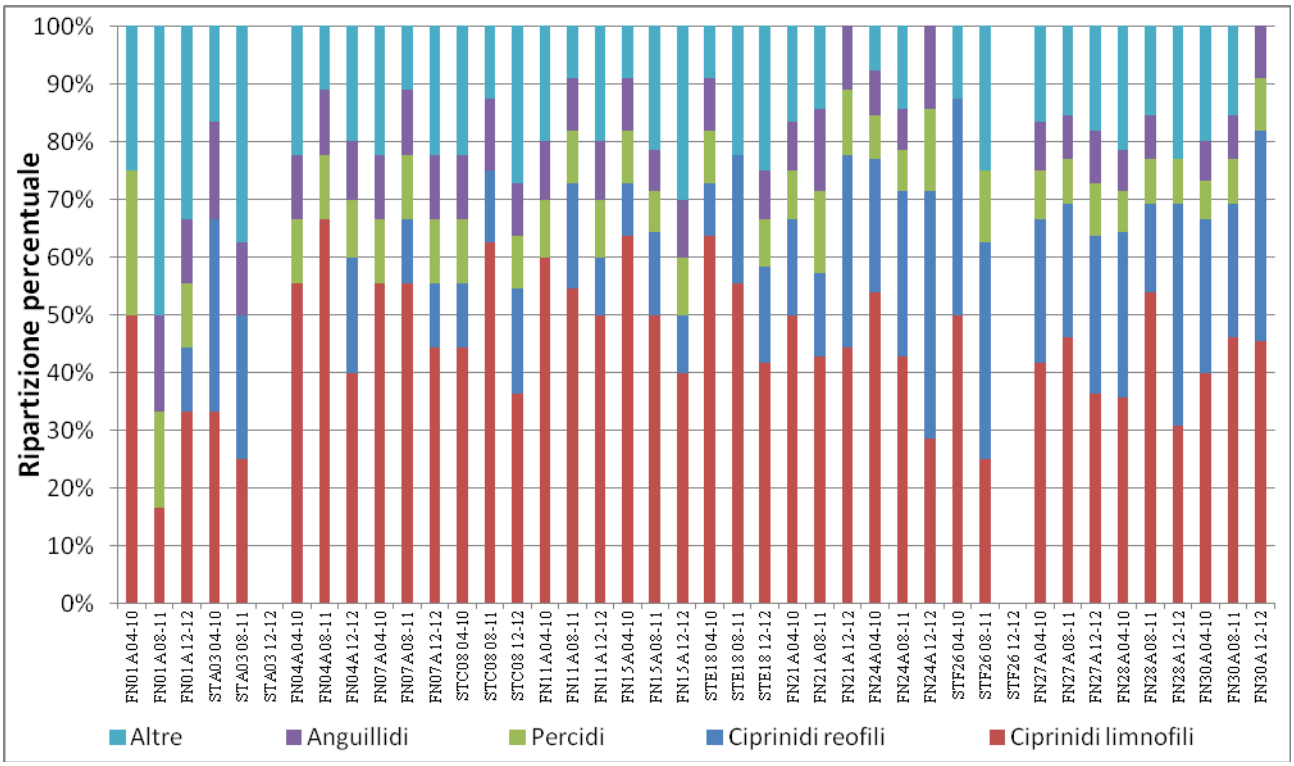


Grafico 3.11.- confronto delle campagne primaverili (04-1 08-11 12-12) nel tratto tra Calcio e Pontevico

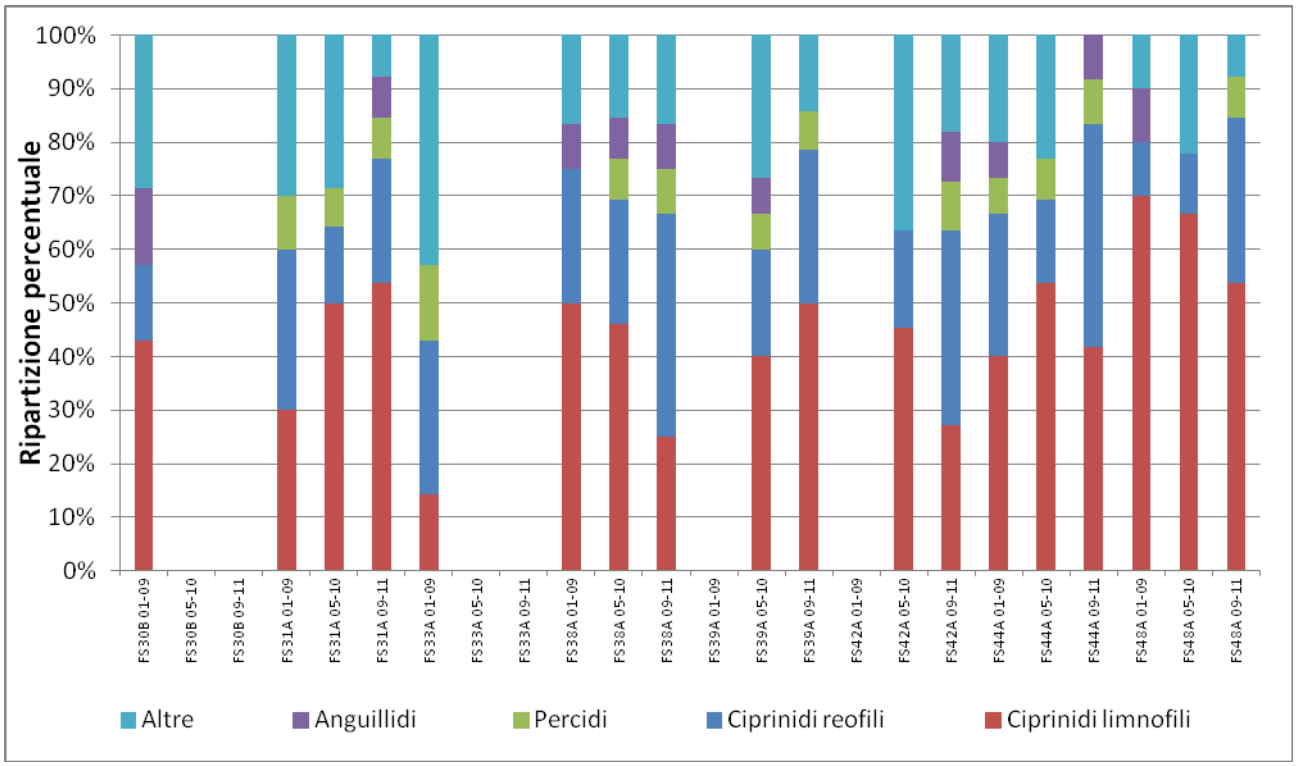


Grafico 3.12.- confronto delle campagne primaverili (04-1 08-11 12-12) nel tratto tra Calcio e Pontevico

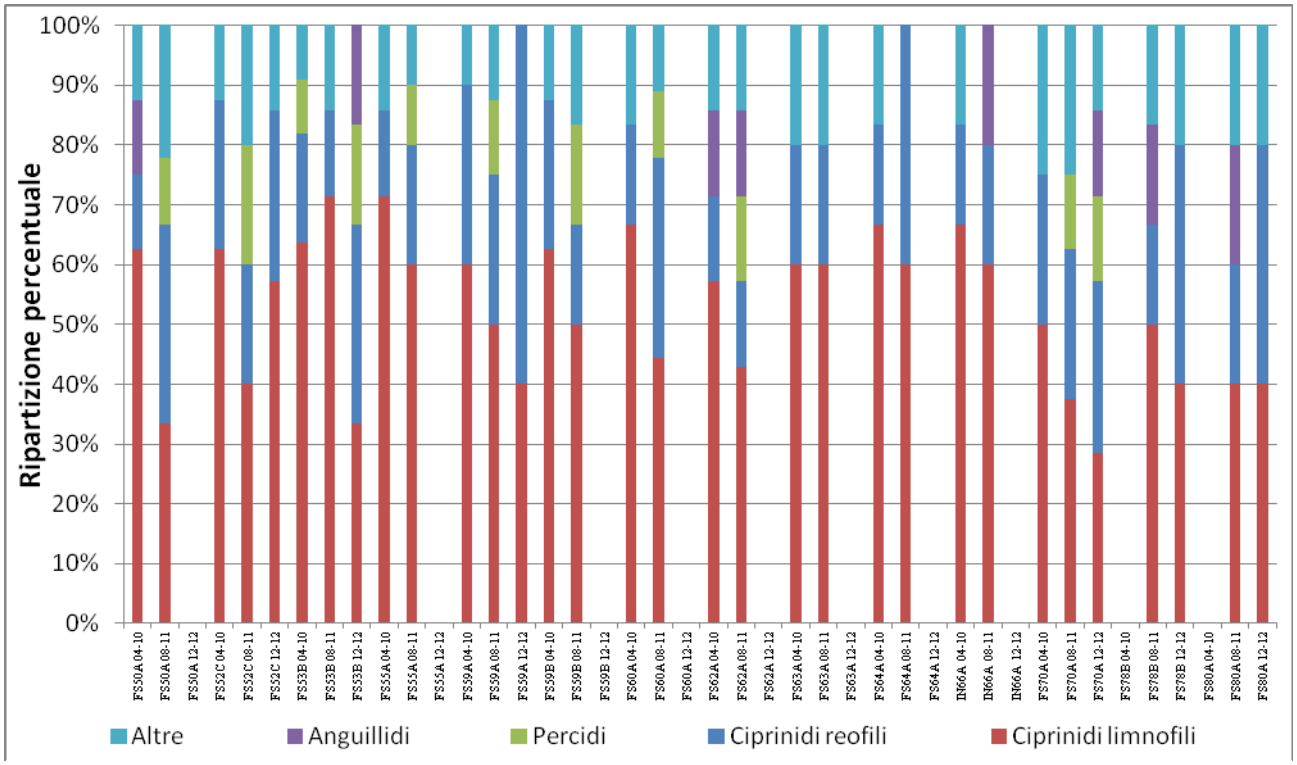


Grafico 3.13.- confronto delle campagne primaverili (04-1 08-11 12-12) nel tratto tra Pontevico e la confluenza in Po

Come visibile, le dinamiche tra le popolazioni si mantengono pressoché immutate, non identificando scompensi o mutamenti gravosi. Tale condizione riconferma, unitamente a tutte le altre analisi poste in essere, che attualmente lo schema di rilascio applicato non sta apportando impatti tali da incidere direttamente sullo stato dell'ittiofauna autoctona popolante il fiume Oglio sublacuale.

Anche in questa campagna si evidenzia allarmante la presenza delle specie alloctone, tra le quali è sempre il siluro (*Silurus glanis*) ad esercitare la pressione maggiore, costituendo circa il 55,4% della biomassa totale catturata (dato che, in ogni caso, risulta fortemente influenzato in eccesso dall'insuccesso delle catture e del numero di stazioni realizzato). Nonostante ciò, l'attuazione di progetti di contenimento nel tratto regolato da parte delle Province di Brescia e di Bergamo, in collaborazione con il Consorzio dell'Oglio, ha evidenziato una netta regressione della specie nei tratti di intervento. Infatti, non solo i quantitativi numerici e di biomassa catturata sono diminuiti, ma lo sono anche la taglia media e l'incidenza sulle specie autoctone. Precisamente è stato possibile osservare una redistribuzione spaziale delle specie indigene che, disponendo di nuovi meso-habitat e rifugi lasciati liberi dal siluro, hanno ricolonizzato aree in cui precedentemente non venivano rilevate. Inoltre, nei prossimi anni, si inizieranno ad osservare gli effetti benefici legati alla riduzione della pressione predatoria.

1.1.2

Fig. 3.3.- alcune catture di siluro durante il progetto di contenimento del 2011

Figura 3.4.- fasi di cattura subacquea del progetto di contenimento del 2011

3.4.4.- Analisi sintetica dei dati della campagna 12/12

Tratti previsti:	37
Tratti indagati:	21

Specie censite:	29
Specie autoctone:	19
Specie alloctone:	10

N° totale soggetti catturati:	4.665
Biomassa totale catturata (kg):	1.458

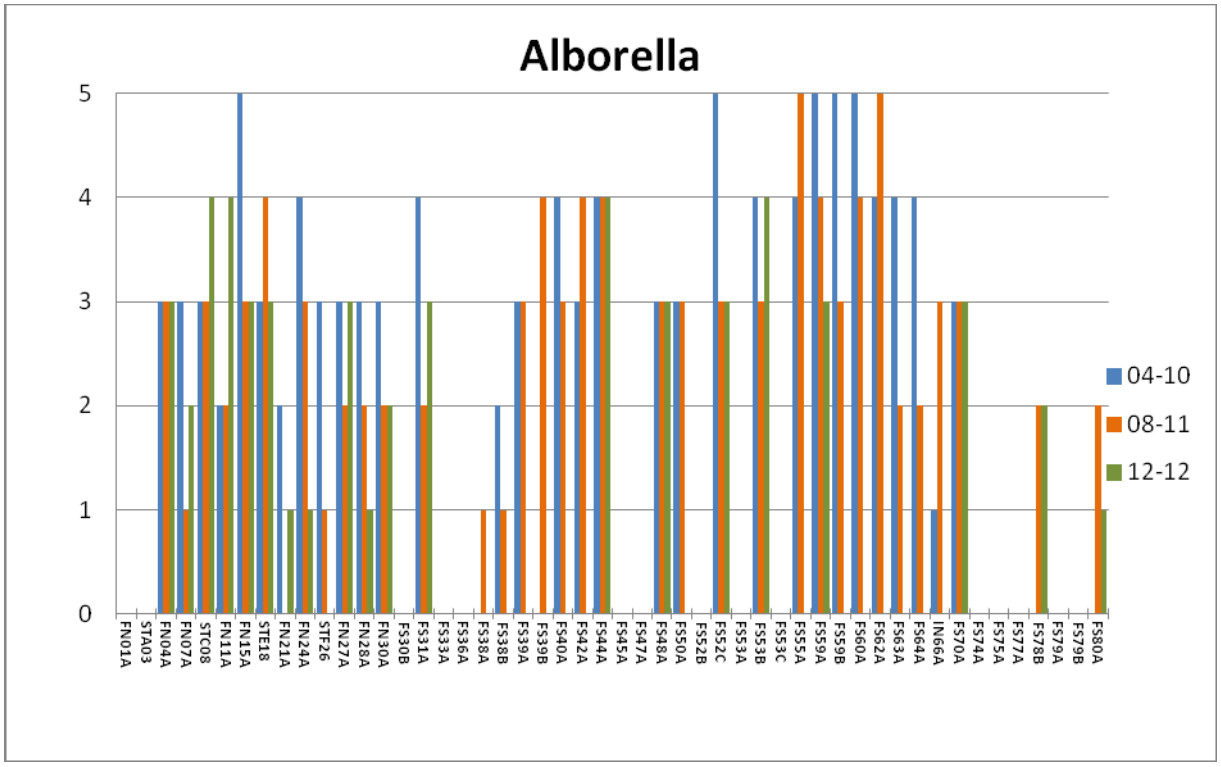
Abbondanze delle singole specie rilevate nella campagna 12/12

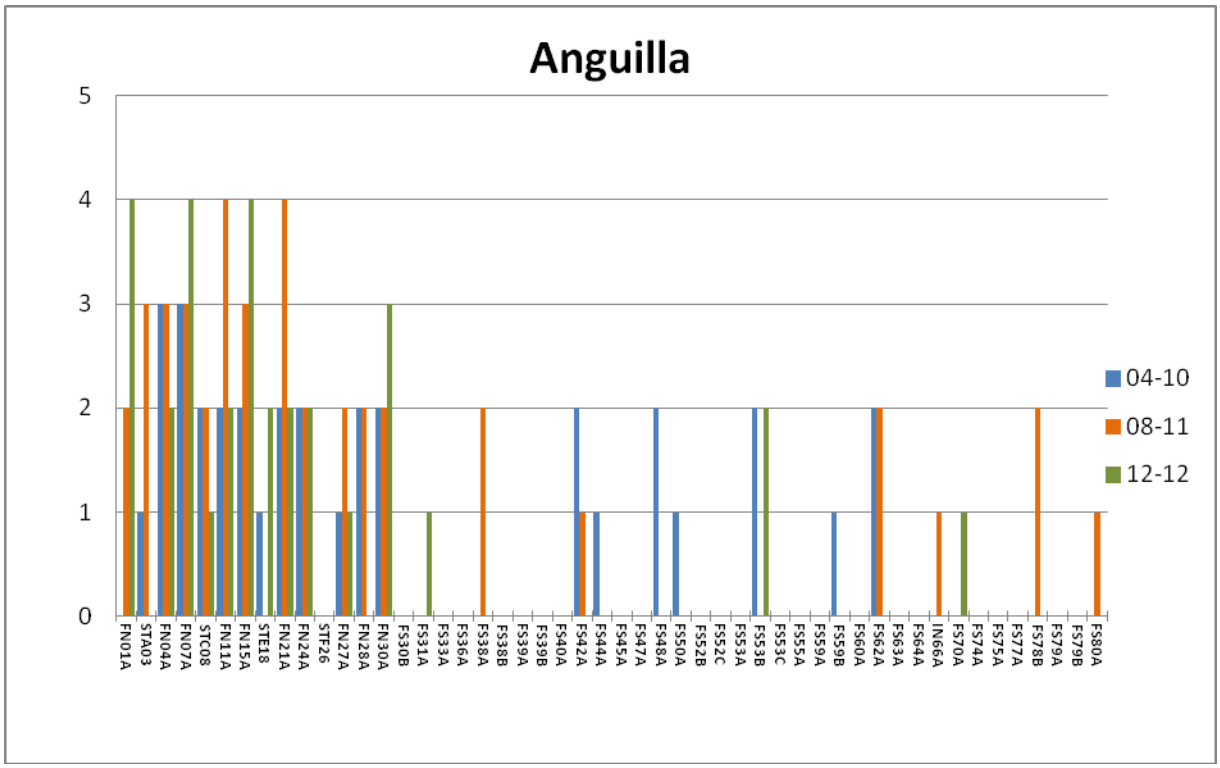
Specie	FN01A	FN04A	FN07A	STC08	FN11A	FN15A	STE18	FN21A	FN24A	FN27A	FN28A	FN30A	FS31A	FS44A	FS48A	FS52C	FS53B	FS59A	FS70A	FS78B	FS80A
Abramide	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	R/N	C/S
Alborella	-	C/	O/N	A/S	A/S	C/S	C/S	R/N	R/	C/S	R/N	O/N	C/S	A/S	C/S	C/S	A/S	C/S	C/S	O/N	R/N
Anguilla	A/A	O/	A/A	R/N	O/N	A/A	O/N	O/	O/	R/N	-	C/S	R/N	-	-	-	O/N	-	R/N	-	-
Aspio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	R/N	O/N
Barbo comune	-	-	-	-	-	-	R/N	R/N	A/S	R/N	R/N	O/N	C/S	C/S	C/S	C/S	O/N	O/N	R/N	R/N	O/N
Barbo esotico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blicca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	-	O/N
Carassio	-	O/	-	-	-	-	O/N	R/N	-	O/N	-	C/A	C/S	O/N	O/N	-	O/N	-	R/N	-	-
Carpa regina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C/S	-	O/N	-	R/N	-	O/N	O/N	C/A	O/N
Cavedano	R/N	C/	C/S	A/S	C/N	C/S	M/S	M/S	A/S	A/S	C/S	A/S	A/S	A/S	C/S	C/S	O/N	O/N	O/N	R/N	R/N
Cefalo calamita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	O/N	O/N
Cobite	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-	C/S	-	-	-	C/S	-	-	-	-	-	-	-
Gambusia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gardon	-	-	-	-	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ghiozzo	O/N	O/	C/S	R/N	C/S	R/N	O/N	-	-	C/S	R/N	-	-	-	R/N	R/N	-	-	-	-	-
Gobione	-	-	-	O/N	-	R/N	C/S	-	-	-	O/N	-	R/N	O/N	-	-	-	-	-	-	-
Lasca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	C/S	-	R/N	-	-	-	-	-	-	-
Luccio	O/N	O/	O/N	C/N	C/S	O/N	O/N	-	-	-	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lucioperca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	-	-	-	-	-	R/N	-	O/N
Misgurno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Persico reale	O/N	C/	O/N	O/N	O/N	O/N	R/N	O/	O/	O/N	R/N	R/N	O/N	-	-	-	R/N	-	R/N	-	-
Persico sole	-	R/	O/N	R/N	O/N	O/N	R/N	O/	-	O/N	-	-	R/N	-	-	-	-	-	R/N	-	-
Persico trota	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesce gatto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pesce gatto afr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pigo	-	-	-	-	-	-	O/N	-	-	R/N	-	O/N	O/N	R/N	-	-	-	-	-	-	-
Pseudorasbora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	R/N	R/N	R/N	R/N	R/N	-	R/N
Rodeo amaro	-	R/	-	O/N	C/S	O/N	O/N	O/	O/	R/N	R/N	C/S	O/N	R/N	C/S	C/S	C/S	-	R/N	-	-

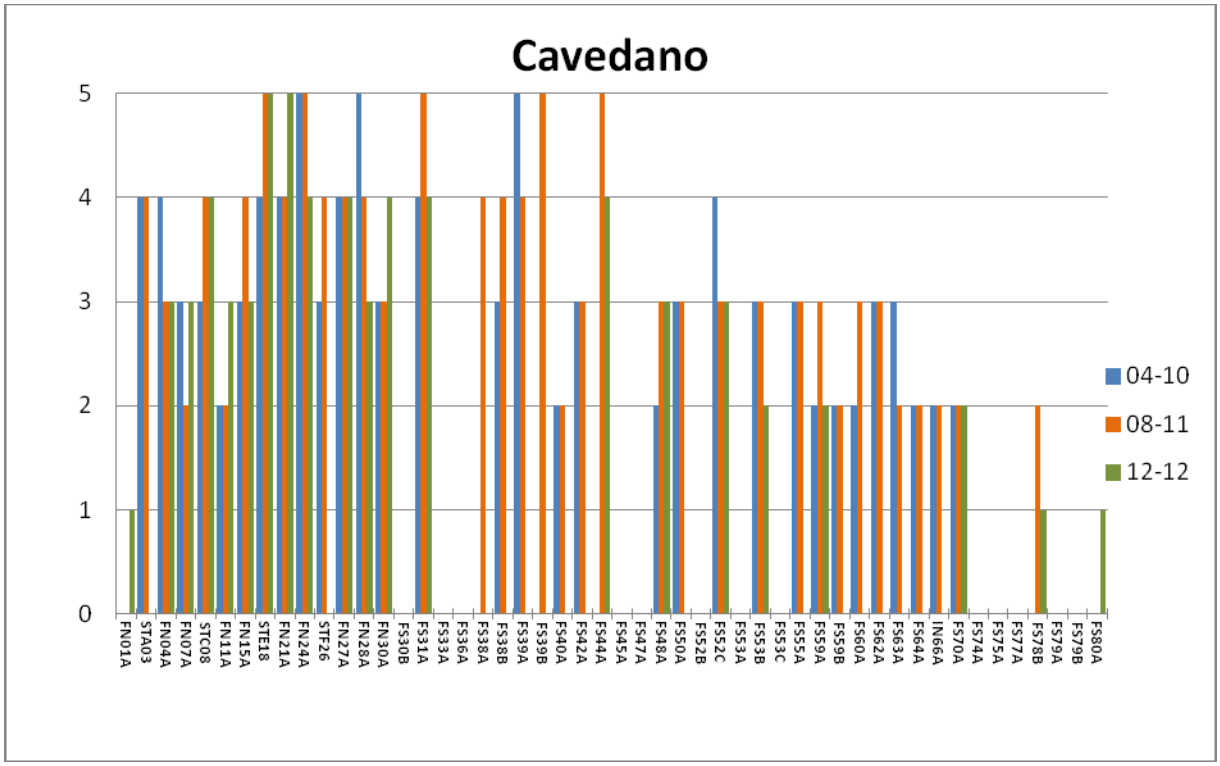
Sanguinerola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Savetta	-	-	-	-	R/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R/N	-	-	-	-	-	-
Scardola	C/S	A/	O/N	C/S	A/S	O/N	C/S	O/	A/S	O/N	R/N	-	O/N	-	R/N	R/N	-	-	-	-	-
Siluro	O/N	M/	O/N	C/N	C/S	A/S	-	O/	A/S	O/N	O/N	C/S	O/N	O/N	O/N	C/S	O/N	-	R/N	O/N	O/N
Storione cobice	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T. fario atlantica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tinca	C/S	C/	O/N	R/N	A/A	O/N	R/N	R/N	-	-	O/N	R/N	C/S	R/N	-	-	-	-	-	-	-
Triotto	R/N	C/	O/N	C/S	C/S	C/S	C/S	O/	-	O/N	R/N	O/N	C/S	R/N	R/N	R/N	R/N	-	-	-	-
Vairone	-	R/	-	O/N	-	-	-	O/	R/	O/N	O/N	A/S	-	R/N	-	-	-	R/N	-	-	-

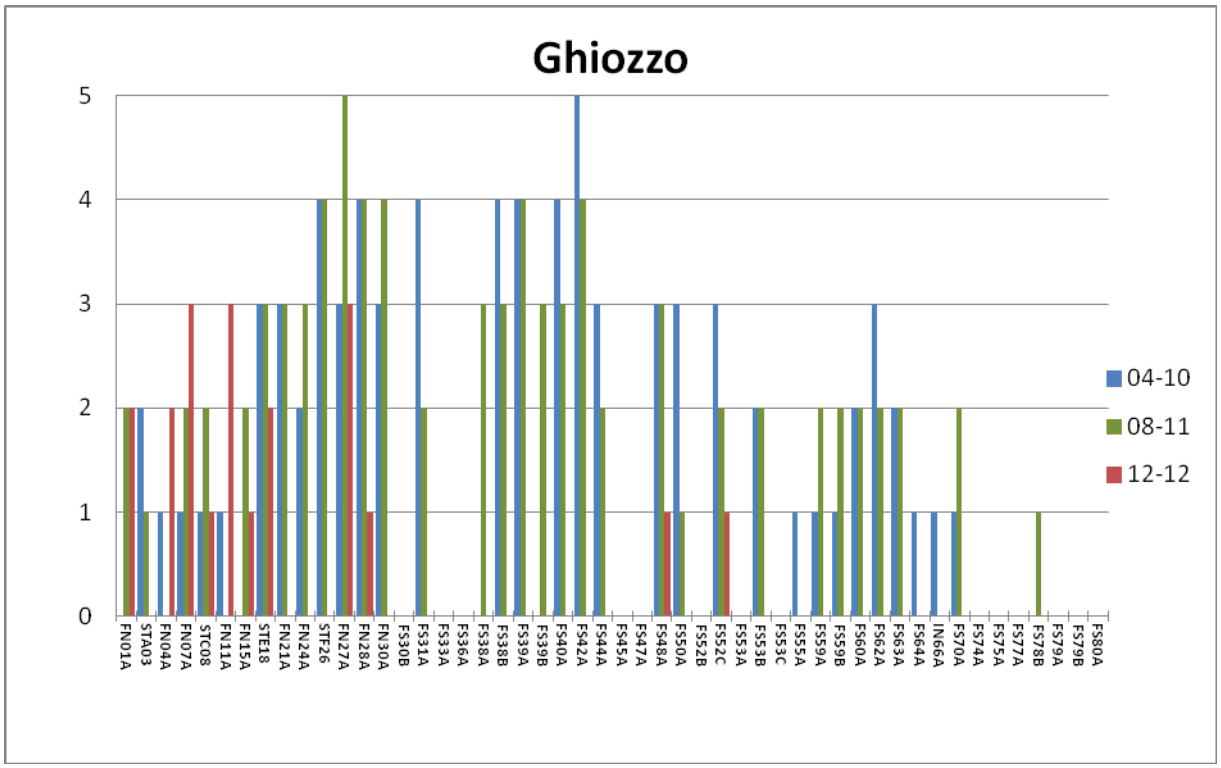
3.5 CONFRONTO CAMPAGNE PRIMAVERILI 04/10, 08/11 E 12/12

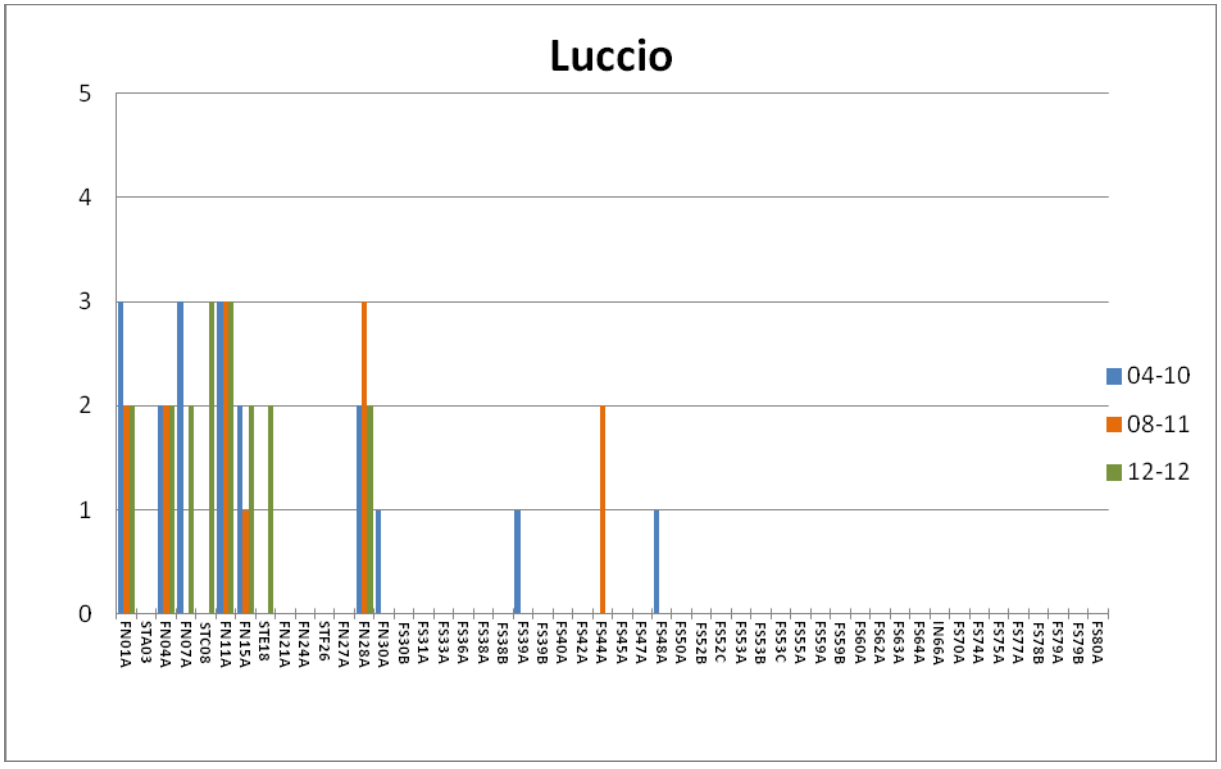
Secondo la stessa metodica presentata precedentemente si riportano i grafici di distribuzione e abbondanza delle principali specie rilevate nelle 3 distinte campagne

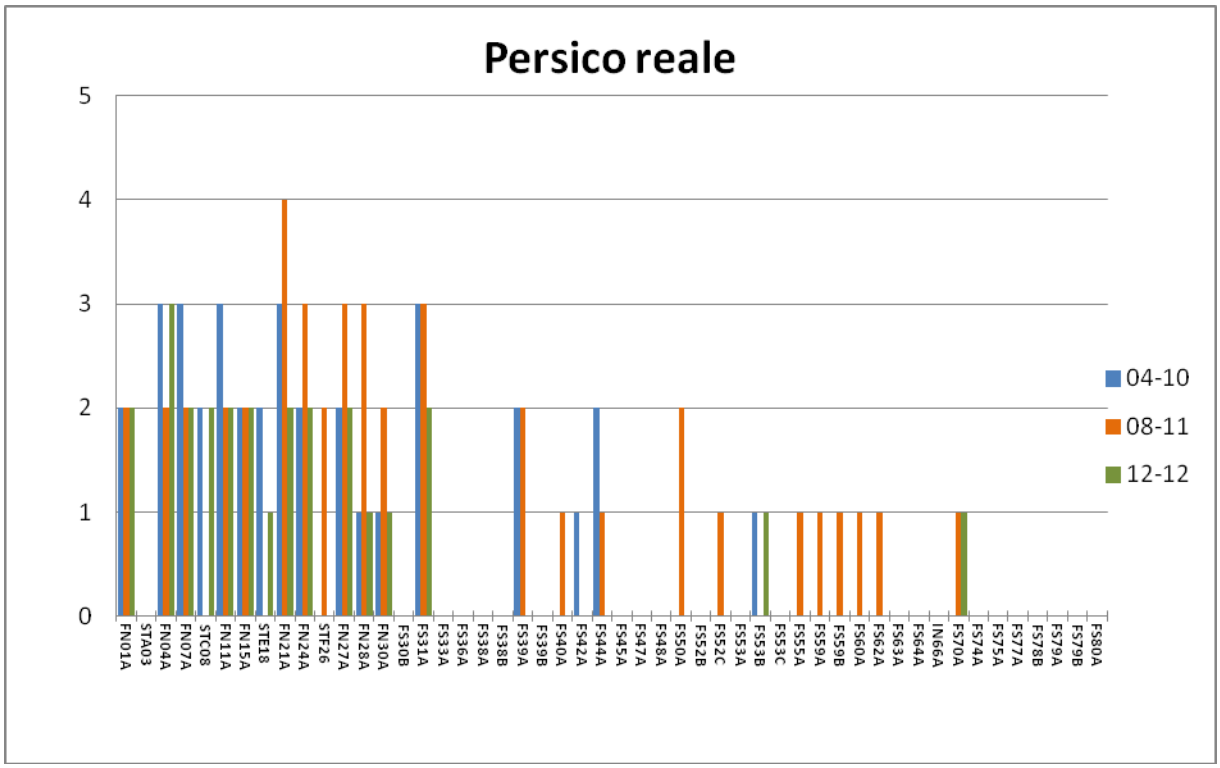



Anguilla
5
4
3
2
1
0
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A
04-10
08-11
12-12


Cavedano
5
4
3
2
1
0
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A
04-10
08-11
12-12


Ghiozzo
5
4
3
2
1
0
04-10
08-11
12-12
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A


Luccio
5
4
3
2
1
0
04-10
08-11
12-12
FN01A
STA03
FN04A
FN07A
STC08
FN11A
FN15A
STE18
FN21A
FN24A
STF26
FN27A
FN28A
FN30A
FS30B
FS31A
FS33A
FS36A
FS38A
FS38B
FS39A
FS39B
FS40A
FS42A
FS44A
FS45A
FS47A
FS48A
FS50A
FS52B
FS52C
FS53A
FS53B
FS53C
FS55A
FS59A
FS59B
FS60A
FS62A
FS63A
FS64A
IN66A
FS70A
FS74A
FS75A
FS77A
FS78B
FS79A
FS79B
FS80A



Come si evince dai grafici, il monitoraggio risulta penalizzato dall'andamento dell'ultima campagna, che limita la disponibilità dei dati e la significatività degli stessi.

L'analisi dei dati disponibili restituisce comunque un chiaro mantenimento della distribuzione e abbondanza delle specie principali e più sensibili. Tale condizione porta a definire un impatto nullo delle condizioni di rilascio che, allo stato attuale, non evidenziano disturbi significativi sullo stato di salute delle popolazioni autoctone.

Per un più approfondito confronto delle prime due campagne di monitoraggio primaverile (04-10 e 08-11) si fa rimando alla relazione del secondo anno.

3.5.1.- APPLICAZIONE DELL' INDICE ISECI

Anche per la campagna 12/12 è stato applicato l'indice qualitativo ISECI.

Tab. 3.8.- tabella dati ISECI con comunità ittica standard e modificata. Evidenziati in grassetto e con colore grigio le stazioni per cui, applicando la modifica della comunità di riferimento, si osserva un significativo cambio del valore.

Stazione	12-12 normale		12-12 modificato	
	Valore	Classe	Valore	Classe
FN01A	0,55	sufficiente	0,55	sufficiente
FN04A	0,49	sufficiente	0,49	sufficiente
FN07A	0,53	sufficiente	0,53	sufficiente
STC08	0,16	cattivo	**0,26**	scarso
FN11A	0,54	sufficiente	0,54	sufficiente
FN15A	0,27	scarso	**0,35**	scarso

STE18	0,44	sufficiente	**0,54**	sufficiente
FN21A	0,36	scarso	0,34	scarso
FN24A	0,34	scarso	**0,42**	sufficiente
FN27A	0,45	sufficiente	**0,57**	sufficiente
FN28A	0,38	scarso	**0,52**	sufficiente
FN30A	0,40	scarso	**0,50**	sufficiente
FS31A	0,38	scarso	**0,46**	sufficiente
FS44A	0,45	sufficiente	**0,57**	sufficiente
FS48A	0,36	scarso	0,36	scarso
FS52C	0,25	scarso	0,25	scarso
FS53B	0,43	sufficiente	0,43	sufficiente
FS59A	0,35	scarso	0,35	scarso
FS70A	0,38	scarso	0,38	scarso
FS78A	0,25	scarso	0,25	scarso
FS80A	0,25	scarso	0,25	scarso

Cattivo - Scarso - Sufficiente - Buono - Elevato

Al fine di osservare eventuali cambiamenti dello stato qualitativo dell'indice Fauna Ittica, è stato effettuato un primo confronto tra i dati primaverili. A tale scopo, in modo da rendere più sensibile lo strumento ai cambiamenti accumunabili agli impatti derivanti dalla modulazione del DMV, si è ritenuto di impiegare la comunità ittica di riferimento modificata, tarando la risposta dell'indice sulla comunità realmente popolante il fiume e stabilizzatasi in esso da diversi decenni.

Tab. 3.9.- confronto classi di qualità ISECI delle 3 campagne primaverili

Stazione	04/10		08/11		12/12	
	Valore	Classe	Valore	Classe	Valore	Classe
FN01A	0,52	sufficiente	**0,43**	sufficiente	**0,55**	sufficiente
STA03	0,55	sufficiente	0,53	sufficiente		
FN04A	**0,54**	sufficiente	**0,45**	sufficiente	**0,49**	sufficiente
FN07A	**0,52**	sufficiente	**0,40**	sufficiente	**0,53**	sufficiente
STC08	**0,39**	scarso	**0,40**	sufficiente	**0,26**	scarso
FN11A	**0,39**	scarso	**0,51**	sufficiente	**0,54**	sufficiente
FN15A	**0,39**	scarso	**0,39**	scarso	**0,35**	scarso
STE18	0,42	sufficiente	**0,41**	sufficiente	0,54	sufficiente
FN21A	**0,42**	sufficiente	**0,48**	sufficiente	**0,34**	scarso
FN24A	**0,56**	sufficiente	**0,54**	sufficiente	**0,42**	sufficiente
STF26	0,66	buono	0,74	buono		
FN27A	**0,56**	sufficiente	**0,52**	sufficiente	**0,57**	sufficiente
FN28A	**0,66**	buono	**0,59**	sufficiente	**0,52**	sufficiente
FN30A	0,64	buono	**0,60**	buono	**0,50**	sufficiente
FS30B						
FS31A	0,55	sufficiente	**0,52**	sufficiente	**0,46**	sufficiente
FS33A						

FS36A						
FS38A	0,78	buono	**0,65**	buono		
FS38B			0,67	buono		
FS39A	0,79	buono	0,78	buono		
FS39B			**0,64**	buono		
FS40A	0,69	buono	**0,63**	buono		
FS42A	0,70	buono	0,77	buono		
FS44A	**0,53**	sufficiente	**0,49**	sufficiente	**0,57**	sufficiente
FS45A	**0,60**	buono				
FS47A	**0,43**	sufficiente				
FS48A	**0,32**	scarso	**0,35**	scarso	**0,36**	scarso
Stazione	**04/10**		**08/11**		**12/12**	
	Valore	**Classe**	**Valore**	**Classe**	**Valore**	**Classe**
FS50A	**0,25**	scarso	**0,43**	sufficiente		
FS52B	**0,39**	scarso				
FS52C	**0,31**	scarso	**0,33**	scarso	**0,25**	scarso
FS53A	**0,21**	scarso				
FS53B	**0,37**	scarso	**0,25**	scarso	**0,43**	sufficiente
FS53C	**0,45**	sufficiente				
FS55A	**0,39**	scarso	0,47	sufficiente		
FS59A	**0,35**	scarso	**0,34**	scarso	0,35	scarso
FS59B	**0,35**	scarso	0,28	scarso		
FS60A	**0,35**	scarso	**0,24**	scarso		
FS62A	**0,28**	scarso	**0,34**	scarso		
FS63A	**0,30**	scarso	**0,15**	cattivo		
FS64A	**0,35**	scarso	**0,25**	scarso		
FS67A	**0,28**	scarso	**0,30**	scarso		
FS70A	**0,30**	scarso	**0,28**	scarso	**0,38**	scarso
FS74A	**0,27**	scarso				
FS75A						
FS77A			**0,16**	cattivo	**0,25**	scarso
FS78B						
FS79A						
FS79B						
FS80A			**0,15**	cattivo	**0,25**	scarso

Cattivo - Scarso - Sufficiente - Buono - Elevato

Il mantenimento dei parametri qualitativi risulta evidente nelle prime 2 campagne (04-10 e 08-11); purtroppo data l'incompletezza dei dati raccolti nella campagna 12-12 non è possibile effettuare una valutazione estesa a tutto il fiume. Resta comunque evidente un sostanziale mantenimento delle classi di qualità per il tratto regolato (compreso tra la stazione FN01A e la stazione FN31A), con variazioni legate prevalentemente al malus derivante dalle specie alloctone (nella tabella sono state riportate evidenziate in **grassetto rosso** le stazioni in cui è stata rilevata un popolazione strutturata di siluro e

in **grassetto viola** dove ne è stata rilevata una presenza non strutturata, identificando così le diminuzioni di valore legate a questo malus).

Come si può osservare, quindi, la maggior parte dei cambiamenti di classe tra le stazioni è più che altro legata alla migrazione delle specie alloctone all'interno degli habitat fluviali. Infatti, al netto del malus generato dalla presenza del siluro, non si evidenzierebbero sostanziali cambiamenti di classe e, anzi, si riscontrerebbero molte più stazioni aventi una classe qualitativa nettamente più elevata.

Il confronto tra le 3 campagne risulta quindi di significativa rilevanza per i primi due anni, che non denotano sostanziali variazioni tra le classi di qualità, mentre la terza campagna (12-12) necessiterà di integrazioni e valutazioni derivanti dai dati delle future campagne per rendere omogeneo e impiegabile il dato. In linea di massima, al netto di un teorico handicap dettato dalle condizioni climatiche avverse, si ritiene comunque che le variazioni osservabili sarebbero nettamente più miti e meno dequalificanti per alcune stazioni che, come detto, verranno rivalutate successivamente.

3.6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Al termine del terzo anno di sperimentazione si dispone di un approfondito livello di conoscenza del fiume e delle dinamiche che regolano gli equilibri ittici, ciò permette la realizzazione di un primo confronto tra campagne di monitoraggio e la valutazione della regola di rilascio applicata.

Da tali confronti risulta:

1. una sostanziale stabilità, nel triennio, degli equilibri tra le popolazioni costituenti la comunità ittica;
2. il mantenimento della distribuzione ed abbondanza delle singole specie all'interno del fiume;
3. la riconferma della vocazione ittica del fiume e del fatto che la comunità rilevata sia in linea con quella attesa e potenzialmente in grado di popolare le acque del fiume Oglio sublacuale;
4. non si sono riscontrati evidenti segni di disturbo correlabili all'applicazione degli scenari di deflusso, dato il mantenimento della distribuzione e densità delle principali specie;
5. anzi, si ritiene che gli stessi non stiano influenzando negativamente la disponibilità di ambienti per la riproduzione, sviluppo e foraggiamento per l'ittiofauna;
6. nuovamente si evidenziano diversi fattori limitanti la distribuzione e la qualità dell'ittiofauna popolante il fiume Oglio sublacuale, identificabili nell'alterazione morfologica, nella banalizzazione dell'alveo e nella pressione biologica;
7. in ultimo si è provveduto all'applicazione dell'indice biologico ufficiale (ISECI), evidenziandone il limite applicativo in un fiume di grandi dimensioni ed avente elevata biodiversità e tipologia di impatti – morfologici e biologici –, limite che si riflette anche nelle valutazioni necessarie allo studio di un progetto di deflusso minimo vitale.

In conclusione si può quindi affermare che nel fiume Oglio sublacuale, a seguito delle attività di rilievo e monitoraggio messe in atto, è stato identificato un sostanziale mantenimento degli equilibri ittici delineatisi nell'ultimo decennio – periodo per il quale si dispone di dati, anche se non sempre esaustivi – e che, allo stato attuale, l'applicazione degli scenari di Sperimentazione non influenza negativamente la disponibilità di ambienti popolabili e colonizzabili dall'ittiofauna. Infatti, la comunità ittica popolante il fiume trova indistintamente aree idonee allo svolgimento delle proprie fasi fisiologiche e vitali.

Nuovamente si torna a ribadire che i principali fattori limitanti la diffusione e la salute dell'ittiofauna autoctona siano da ricercarsi nelle pressioni biologiche ed antropiche, oltre che ai più volte citati problemi legati alla morfologia fluviale e di banalizzazione dell'alveo.

4. MONITORAGGIO IDROLOGICO

4.1.- ANDAMENTO GENERALE DELL' ANNO IDORLOGICO

Il terzo anno di svolgimento del Progetto di Sperimentazione si è caratterizzato con un andamento idrologico favorevole grazie alle precipitazioni e alle temperature primaverili, e la regolazione del lago ha raggiunto il massimo livello al 23/6/11. Nella campagna estiva di monitoraggio è stato possibile mantenere costanti le portate erogate, mentre le portate derivate sono state modulate su base settimanale per utilizzare gli eventi meteo della stagione.

Anche le campagne autunnale ed invernale hanno avuto svolgimento regolare, mentre la campagna primaverile del 2012 è stata interrotta ad inizio maggio a causa di afflussi elevati in condizione di quasi completo riempimento dell' invaso, per cui non è stato possibile laminarli nel lago.

Campagna n. 09/2011

La nona campagna di monitoraggio, prima del terzo anno, è stata anticipata a metà del mese di luglio ed è terminata entro il 10/8 per quanto riguarda il monitoraggio chimico – fisico e il monitoraggio idraulico. Sono state effettuate 48 misure di portata dirette, oltre a numerose giornate di rilevamento delle stazioni idrometriche realizzate in primavera; si è proceduto al monitoraggio degli immissari naturali ed artificiali potenzialmente significativi per l' incremento di portata, sia mediante misure dirette, sia mediante rilevi speditivi e stime (soprattutto nei casi di portate minime).

Campagna n. 10/2011

Programmata con inizio alla metà del mese di novembre, ha avuto andamento regolare e gli scenari previsti sono stati tutti applicati.

Sono state effettuate 44 misure di portata dirette.

Campagna n. 11/2012

L'inverno 2011-2012 ha registrato afflussi modesti, inferiori ai valori di magra ordinaria del periodo storico. E' stato comunque possibile applicare gli scenari previsti, anche quello di rilascio maggiore, grazie alla regolazione del lago d' Iseo che aveva provveduto al riempimento dell' invaso concesso. L' inizio della campagna è avvenuto alla fine di gennaio, in condizioni idraulicamente stabili, e l' operatività è stata solo parzialmente ostacolata da precipitazioni nevose.

Questa campagna ha visto l' esecuzione di 47 misure di portata. Sono state eseguite in contemporanea con il monitoraggio chimico fisico per ottenere una fotografia dettagliata degli effetti di questi scarichi sulle condizioni generali del fiume.

Campagna n. 12/2012

L' esecuzione della campagna ha subito un repentino stop dopo che erano stati monitorati due scenari, 7,5% e 10%, a causa di una perturbazione consistente, a cui sono seguiti deflussi dal lago ben superiori a 100 mc/s per alcuni giorni. La situazione normale si è ristabilita a metà del mese di maggio, ma poi dal giorno 20/5 i deflussi sono nuovamente saliti a valori che impedivano l' applicazione degli scenari nei tratti sottesi, obiettivi principali della campagna. Si è allora deciso di interrompere la campagna, perché il monitoraggio sarebbe avvenuto in periodo climatico prossimo all' estate, e quindi con caratteristiche troppo difformi dal periodo in cui si era svolta la prima parte.

Le misure di portata eseguite sono state 26.

4.2 INTERVENTI SULLA RETE DI MONITORAGGIO

a) Si è proceduto alla realizzazione della stazione di monitoraggio di Roccafranca, chiesta dal Tavolo Tecnico, con la quale si è ottenuto il monitoraggio in continuo dei livelli del f. Oglio a monte della traversa, e delle portate prelevate dalla derivazione irrigua denominata Conta . I dati rilevati sono trasmessi alla banca dati del Consorzio dell' Oglio, e sono resi pubblici attraverso il sito web www.oglioconsorzio.it . Simultaneamente il Consorzio ha proceduto ad una serie di misure di portata sul fiume, così da creare un set di dati per la formazione della scala di portata della stazione. Le misure devono essere ripetute periodicamente, dopo il verificarsi di eventi particolari di magra, per consentire l' aggiornamento della scala. Tutte le modifiche ad essa che devono essere apportate sono registrate nella banca dati, per cui è assicurata la continuità storica dei valori rilevati.
b) Il Consorzio dell' Oglio ha completato il telerilevamento dei dati delle sezioni di misura delle portate derivate dalle Utenze irrigue, installando n. 7 nuove stazioni, per cui ora sono 16 le derivazioni irrigue dotate di trasmissione dati in tempo reale.
c) E' stata realizzata anche la teletrasmissione dei dati della Roggia Molinara, che non fa parte del sistema irriguo del f. Oglio di competenza del Consorzio.
d) Sempre utilizzando il sito web del Consorzio, è stato creato un quadro sinottico delle derivazioni sia irrigue che idroelettriche, aggiornate giornalmente, nel quale sono riportati i dati medi giornalieri delle derivazioni, le portate di concessione, la portata teorica di rilascio del DMV e la portate reale giornaliera. L' accesso è riservato ai componenti il Tavolo tecnico e a coloro che ne fanno semplice richiesta al Consorzio.

4.3 CONSIDERAZIONI SULLE CAMPAGNE DI MISURA

Misure e stime

L'attività in campo ha confermato la validità sia dei metodi sia delle attrezzature impiegate nel monitoraggio; per alcune delle sezioni di misura si è deciso di operare uno spostamento di alcune centinaia di metri, alla ricerca di migliori condizioni di operatività e per sfruttare migliori situazioni di regolarità della corrente in alveo che consentissero maggiori precisioni di misura.

Calendario generale dell' attività di monitoraggio

Nell' Allegato è riportato il calendario generale delle attività svolte, suddiviso per campagna e per scenario applicato; inoltre sono riportati i giorni o il periodo di campionamento per ciascuna delle Azioni previste dal Progetto di Sperimentazione.

Tabelle delle principali grandezze idrologiche del bacino del lago d' Iseo e del f. Oglio sublacuale

Nell' Allegato sono riportate in forma tabellare le portate giornaliere degli afflussi al lago, del deflusso dalla traversa fluviale di Sarnico, della portata complessiva derivata dalle Utenze irrigue del tratto di fiume regolato dal Consorzio dell' Oglio, i valori dei livelli del lago sullo zero idrometrico di Sarnico e del fiume a monte dell' ultima traversa sommersa di Calcio.

Tabelle delle portate nelle sezioni

Al fine di rendere più immediata l' analisi dell'andamento idraulico delle campagne, i risultati sono stati inseriti in tabelle separate per le sezioni del fiume e per le sezioni sottese dalle derivazioni idroelettriche.

Nell'Allegato sono riportati i prospetti delle portate medie giornaliere registrate nei singoli scenari, suddivisi per campagna di monitoraggio. Per lo scenario "primario" della campagna, cioè quello appli-

cabile a tutto il fiume, la tabella riporta tutte le stazioni di misura, individuate dalla posizione chilometrica rispetto all'origine del tratto sublacuale, e le portate relative ai giorni di attuazione dello scenario. Per gli altri scenari le stazioni sono quelle presenti nei tratti sottesi dalle singole centrali idroelettriche.

Tabelle dei rilasci a valle delle derivazioni

Nell'Allegato sono inoltre riportati i valori delle portate medie giornaliere di DMV rilasciate a valle delle grandi derivazioni irrigue e delle derivazioni idroelettriche, nei giorni di applicazione degli scenari e di svolgimento dei campionamenti.

Nelle Tabelle sono evidenziati con lo sfondo in colore arancio i giorni in cui si è registrata una portata rilasciata inferiore a quella prevista dal PTUA, quando lo scarto rispetto al valore teorico sia stato superiore al 5 % di tale valore. Si ricorda che questo range di tolleranza è legato al concetto di misura di portata, per la quale non esiste un "valore esatto" a causa di variazioni anche minime nell'istante di tempo e nelle diverse zone della sezione, principalmente dovute ad irregolarità del fondo dell' alveo.

5. DEFINIZIONE DEI TRATTI FLUVIALI E ANALISI STATISTICA DEI DATI

I 16 tratti fluviali sono stati definiti in base alle caratteristiche morfologiche del fiume e alle discontinuità longitudinali, laterali, geopedologiche e granulometriche, quindi per ovvi motivi, sono state incluse le opere antropiche di natura idraulica, che sono risultate determinanti nella ripartizione del fiume stesso in tratti. Il primo tratto di fatto è risultato essere suddiviso in ulteriori 13 sottotratti contraddistinti per l'appunto dai numerosi sbarramenti e da traverse che permettono il prelievo di acqua per scopi industriali ed irrigui. Questa suddivisione risulta, quindi, coerente al contesto generale nel quale si inserisce il presente progetto di sperimentazione in quanto la presenza di traverse impone il rilascio del deflusso minimo vitale. In Allegato III - tabella I- sono riportati i 27 tratti definiti dal presente gruppo di lavoro a confronto con i 33 tratti suggeriti da Regione Lombardia al fine di evidenziare le scarse differenze tra le due proposte e che ha spinto quindi il gruppo di lavoro a utilizzare i tratti definiti dal gruppo stesso (in sede di Tavolo Tecnico del 20 marzo 2012 sia il gruppo di lavoro che Regione Lombardia hanno presentato la proposta dei tratti omogenei).

5.1.- ANALISI DEL FIUME OGLIO SUBLACUALE PER LA DEFINIZIONE DI TRATTI OMOGENEI

La funzionalità ecologica e la capacità autodepurativa di un ecosistema fluviale, così come la struttura delle comunità biologiche è influenzata dalle caratteristiche geomorfologiche del sistema fluviale e dalle modificazioni delle stesse causate dall'insediamento e dalle attività antropiche, da opere per la messa in sicurezza contro il rischio idraulico (argini, difese di sponda longitudinale e trasversale) e per lo sfruttamento della risorsa idrica (traverse, derivazioni irrigue e industriali) (Pinay et al., 2000; Pinay et al., 2002; Tabacchi et al., 2009; Elosegi et al., 2010; Corenblit et al., 2011).

L'analisi del fiume Oglio sublacuale è stata condotta partendo dalla suddivisione in tratti omogenei suggerita dall'analisi morfologica e delle tendenze evolutive riportata nello studio di fattibilità della sistemazione idraulica dell'AdB-Po - Relazione dell'attività 3.1.1.6 "Definizione delle tendenze evolutive dell'alveo e delle forme fluviali riattivabili"[1]. La classificazione in 12 tratti omogenei (Fig. 5.1 e tab. 5.1) è una suddivisione robusta, realizzata implementando la suddivisione in tratti omogenei già eseguita nel progetto SP1 "Piene e naturalità alvei fluviali" 4° fase (stralcio residuo)[2], attraverso i rilievi aereo-

[1] L'Autorità di Bacino del fiume Po nello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica" del 2003 ha perseguito l'obiettivo di definire degli interventi necessari per l'attuazione delle linee definite nel "Piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF)" e nel "Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)". Le attività svolte per raggiungere tale obiettivo riguardano: 1-quelle atte ad implementare e approfondire le conoscenze sul sistema idrografico studiato (indagini relative agli aspetti plano – altimetrici, alle opere idrauliche, alle caratteristiche geomorfologiche, alle condizioni di uso del suolo e agli aspetti idrologici -portate di piena al colmo, delle onde e dei volumi di piena- e idraulici -profili di piena relativi alle diverse condizioni di regime idrologico e alle valutazioni sul trasporto solido-) e 2- quelle di rielaborazione delle conoscenze acquisite al fine di sintetizzare l'assetto del corso d'acqua nelle attuali condizioni, con riferimento alla caratterizzazione delle condizioni di criticità rispetto alla sicurezza idraulica e all'assetto ecologico del sistema fluviale, e di definire l'assetto di progetto dell'asta fluviale in studio a scala di insieme, con l'individuazione degli schemi di funzionamento idraulico, e la predisposizione dei progetti di fattibilità degli interventi da realizzare e del piano generale di monitoraggio e manutenzione (http://www.adbpo.it/onmulti/Morfologia/Lamorfologiafluvialenellapianificazionedibacino/LamorfologiafluvialenegliStudidifattibilitadellasistemazioneidraulicadeicorsid146acqua.html).

[2] Il Sottoprogetto SP1.1 "Piene e naturalità degli alvei" degli anni '90 (1997) ha sistematizzato le conoscenze disponibili per i corsi d'acqua principali del bacino del Po, generando "Schede descrittive della morfologia degli alvei", ed è stato utilizzato come base conoscitiva dal PSFF e dal PAI insieme alla Relazione "Annesso: monitoraggio morfologico e del trasporto solido degli alvei del PSFF", che stabilisce, per la prima volta, le regole e i riferimenti metodologici per il monitoraggio degli aspetti morfologici e sedimentologici degli alvei fluviali, quale strumento per attuare il PSFF;

fotogrammetrici e topografici e i risultati della determinazione sperimentale delle caratteristiche granulometriche dell'alveo e della determinazione degli indici morfometrici, applicando la metodologia descritta da Rosgen (1994)[3]. In particolare, i tratti omogenei sono stati individuati fermandosi al primo e al secondo livello di classificazione, considerando quindi le caratteristiche morfologiche dell'alveo (il profilo planimetrico, la pendenza media del corso d'acqua e le sezioni trasversali della valle o dell'alveo) e il materiale di fondo alveo.

Tab. 5.1.- Tratti omogenei definiti dall'AdB-Po secondo i criteri dello studio di fattibilità.

Tratto AdB-Po	Località I	Prog. I_km	Località F	Prog. F_km
OG 12	Emissario Lago d'Iseo	110,94	Ponte stradale Pontoglio	128,28
OG 11	Ponte stradale Pontoglio	128,28	Ponte stradale Pumenengo	143,26
OG 10	Ponte stradale Pumenengo	143,26	Ponte SS 235 (Soncino)	154,45
OG 09	Ponte SS 235 (Soncino)	154,45	Località Bompensiero	162,02
OG 08	Località Bompensiero	162,02	Ponte stradale Bordolano	175,58
OG 07	Ponte stradale Bordolano	175,58	Ponte stradale Pontevico	187,02
OG 06	Ponte stradale Pontevico	187,02	Confluenza Mella in Oglio	202,95
OG 05	Confluenza Mella in Oglio	202,95	Ponte stradale Isola Dovarese	221,73
OG 04	Ponte stradale Isola Dovarese	221,73	Confluenza Chiese in Oglio	227,22
OG 03	Confluenza Chiese in Oglio	227,22	Ponte Marcaria	240,45
OG 02	Ponte Marcaria	240,45	Bocca Chiavica	258,99
OG 01	Bocca Chiavica	258,99	Confluenza Oglio in Po	267,13

[3] L'attività 2 "Caratterizzazione geometrica, geomorfologica ed idraulica del reticolo idrografico delle aree soggette ad allagamento" del sottoprogetto SP1 "Piene e naturalità alvei fluviali" ha permesso di valutare gli aspetti morfologici e idraulici del reticolo idrografico nelle loro dinamiche evolutive e nelle interazioni con gli interventi antropici.

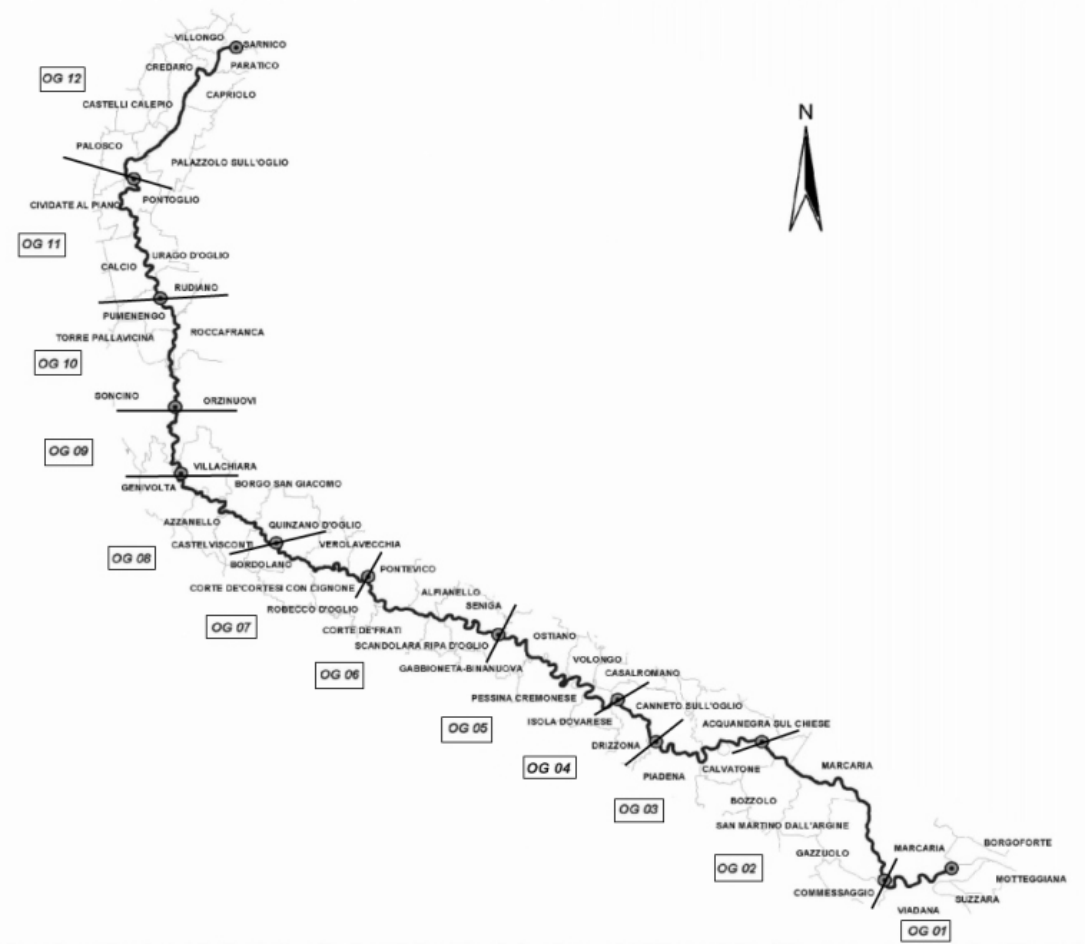


Fig. 5.1.- Mappa dell'asta fluviale del fiume Oglio sublacuale suddivisa in 12 tratti omogenei secondo i criteri dello studio di fattibilità dell'AdBPo.

Alla luce degli obiettivi del presente progetto e di una visione di insieme del sistema fluviale, i 12 tratti omogenei sono stati un' ottima base di partenza per una revisione delle discontinuità di varia natura che insistono lungo l'asta fluviale del fiume Oglio sublacuale. Utilizzando i 12 tratti omogenei dell'AdB-Po è stato deciso di non seguire le indicazioni di Rinaldi et al. (2011) per la definizione di tratti omogenei (cap. 4 del Manuale tecnico di Rinaldi et al., 2011), ma semplicemente sono state intergrate le indicazioni riguardanti le discontinuità (par. 4.5 - pag. 81 del Manuale tecnico di Rinaldi et al., 2011). Riassumendo, i criteri utilizzati nel presente lavoro al fine di determinare tratti omogenei per la gestione del DMV nel fiume Oglio sublacuale sono:

1- I 12 tratti omogenei per le caratteristiche geomorfologiche definiti dall'AdB-Po;

2- discontinuità pedologica-geomorfologica: variazione dei sottosistemi dell'unità di paesaggio utilizzando la Carta Pedologica della Regione Lombardia (Geoportale della Lombardia); voce analizzata "unità di paesaggio";

3- discontinuità longitudinale: variazione della pendenza del fondo dell'alveo per cause naturali o artificiali attraverso l'analisi delle 331 sezioni dallo studio di fattibilità dell'AdB-Po, lo shape "opere lineari" creato durante l' "Analisi del Catasto delle opere" (studio di fattibilità dell'AdB-Po) e la confluenza di altri corsi d'acqua Tipizzazione dei corsi d'acqua[4] (ARPA Lombardia, 2009);

[4] L'approccio sviluppato dal MATTM nel Decreto n°131 del 16 giugno 2008, derivato dall'approccio del *Centre National du Machinisme Agricole, du Gènie Rural, des Eaux et des Fôrets* (CEMAGREF) per la Francia, prevedeva tre fasi: i) regio-

4- discontinuità laterale: fasce PAI, "Analisi del catasto delle opere idrauliche" dell'AdBPo, variazione della larghezza dell'alveo (CTR 1:10.000 e software ArcGis 9.0);

5- discontinuità nella granulometria dell'alveo: "Determinazione sperimentale delle caratteristiche granulometriche dell'alveo" dell'AdB-Po e esperienza di campo.

nalizzazione e definizione delle Idro-Ecoregioni (HER),ii) definizione delle tipologie e iii) definizione delle tipologie di dettaglio. I principali fattori che determinano le caratteristiche dei sistemi idrici sono la **geologia, l'orografia e il clima, che regolano la morfodinamica e i parametri idrochimici** a scala di tratto fluviale e, di conseguenza, regolano l'ecosistema e le biocenosi presenti. In Tabella I sono riportati gli indicatori attribuiti ai diversi livelli di tipizzazione.

Tabella I. Lista dei fattori considerati nei tre livelli proposti per l'individuazione delle tipologie per i fiumi italiani.

	Livello	**Descrittori**	
1	Regionalizzazione	Localizzazione geografica morfometrici climatici Geologici	Altitudine, Latitudine, Longitudine, Pendenza media del corpo idrico Precipitazione, Temperatura dell'aria Composizione geologica del substrato
2	Definizione delle tipologie	Idromorfologici Ideologici	Distanza dalla sorgente Morfologia dell'alveo principale Perennalità e persistenza Origine del corso d'acqua Possibile influenza del bacino a monte
3	Definizione delle tipologie di dettaglio		Temperatura Portata / Regime / Curve durata Interazioni con la falda Carattere lentico-lotico Altro

L'individuazione delle tipologie si basa su pochi e semplici descrittori abiotici, il più possibile indipendenti dalla presenza di eventuali alterazioni antropiche del sistema fluviale. Per la definizione in Regione Lombardia delle tipologie fluviali è stato applicato il protocollo operazionale predisposto dal MATTM (Buffagni *et al*, 2006) che fino al livello 2, si articola in 6 step ad ognuno dei quali corrisponde un descrittore:

- step 1 – **attribuzione ad una Idro-Ecoregione**;
- step 2 – **perennità o temporaneità**;
- step 3 – **origine/persistenza del corso d'acqua**;
- step 4 - **distanza dalla sorgente/morfologia dell'alveo**;
- step 5 - **posizionamento delle separazioni tra i diversi tratti fluviali successivi;**
- step 6 - **influenza del bacino a monte**.

In sintesi, l'analisi svolta da ARPA Lombardia ha fatto riferimento ai seguenti punti:

1. estrazione di tutte le aste naturali;
2. individuazione per ciascuna asta o tratto di asta dello stato idrologico naturale perenne o temporaneo;
3. individuazione della morfologia "confinata" o "modificabile" dell'alveo nel caso di aste/tratti naturali temporanei;
4. individuazione origine del corso d'acqua;
5. distanza dalla sorgente - posizionamento delle sezioni relative ai 5, 25, 75, 150 e oltre 150 km sulle altre aste naturali perenni;
6. posizionamento accurato delle sezioni di separazione tra i diversi tratti fluviali successivi;
7. valutazione dell'influenza delle eventuali Idro-Ecoregioni di monte;
8. codifica dei tratti fluviali.

5.2.- DISCONTINUITÀ PEDOLOGICA-GEOMORFOLOGICA

La carta pedologica della Regione Lombardia (Geoportale della Lombardia), ed in particolare la voce "unità di paesaggio", ha permesso di suddividere il fiume Oglio sublacuale in segmenti caratterizzati dai Sistemi di paesaggio:

- M "Anfiteatri morenici dell'alta pianura": sottosistema MR1 - "Depositi morenici recenti ("wurmiani") dotati di morfologia aspra e costituiti da sedimenti glaciali e subordinatamente fluvioglaciali e fluvio-lacustri, generalmente poco alterati, con diffusa presenza di pietrosità in superficie e di scheletro nei suoli.

- V "Valli alluvionali rappresentanti il reticolato idrografico olocenico":

- sottosistemi VT1 e VT2 - "Superfici terrazzate costituite da "alluvioni antiche o medie", delimitate da scarpate d'erosione, e variamente rilevate sulle piane alluvionali (Olocene antico)
- sottosistemi VA8, VA6, VA4, VA3 - "Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalenmente deposizionale, costituite da Sedimenti recenti od attuali (Olocene recente ed attuale)".

Considerando la classificazione del fiume Oglio sublacuale secondo le unità di paesaggio, esso appartiene all'ambito fisiografico di Pianura: dal km 112 al km 138 l'unità fisiografica è di Alta pianura (pendenze >0.15%), mentre dal km 138 al km 266 l'unità fisiografica è di Bassa Pianura (pendenze <0.15%).

La sovrapposizione dei 12 tratti omogenei definiti dall'AdB-Po ha evidenziato che la variazione del sottosistema dell'unità di paesaggio coincide con il passaggio dai tratti: OG09-OG08, OG06- OG05, OG05-OG04, OG03-OG02 e OG02-OG01. La figura 1.1.2 pone in relazione i 12 tratti dell'AdBPo con le unità di paesaggio della carta pedologica.

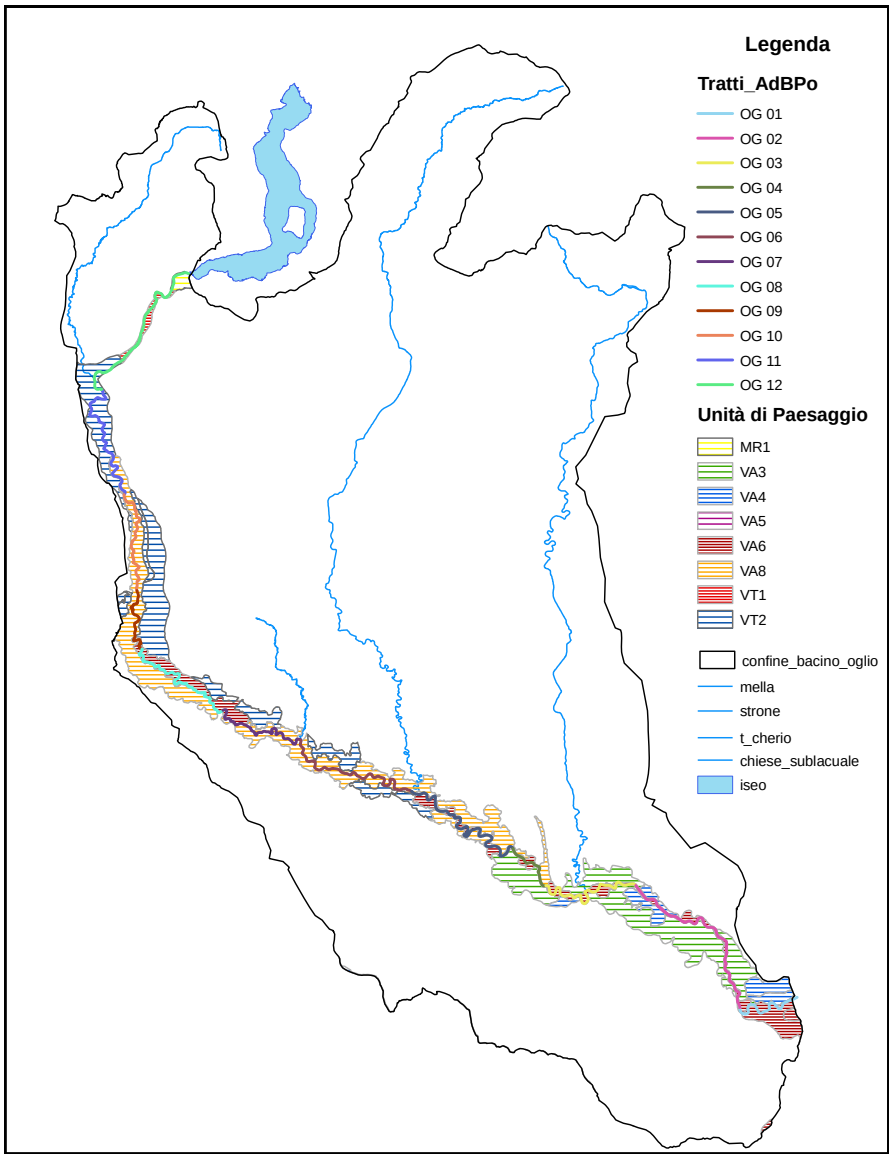


Fig. 5.2 - Unità di paesaggio caratterizzanti l'asta fluviale del fiume Oglio sublacuale5. Sono evidenziati anche i 12 tratti omogenei definiti nello Studio di fattibilità dell'AdBPo

[5] Le unità di paesaggio che caratterizzano l'asta fluviale del fiume Oglio sublacuale sono: MR1 "Cordoni morenici principali e secondari, compresi quelli addossati ai versanti montuosi, generalmente a morfologia netta, con pendenze da basse a molto elevate, costituiti da depositi grossolani poco classati immersi in matrice fine (sabbie e limi)"; VA3 "Superficie modale subpianeggiante della piana alluvionale a meandri e di tracimazione, facente transizione tra le aree più rilevate (dossi) e quelle più depresse (conche)"; VA4 "Conche chiuse di forma subcircolare, artificialmente drenate, rappresentanti le parti depresse delle piane alluvionali di tracimazione e meandriformi, costituite da sedimenti molto fini da cui dipende lo scarso drenaggio interno dei terreni"; VA5 ""Golene protette" da arginature artificiali, inondabili durante gli eventi di piena straordinaria, caratteristiche delle sole piane alluvionali di tracimazione e meandriformi"; VA6 "Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di tracimazione ed a meandri coincidono con le "golene aperte"; nelle piane a canali intrecciati e rettilinei si identificano con gli alvei di piena a vegetazione naturale riparia"; VA8 "Superfici subpianeggianti corrispondenti alle piane alluvionali delle valli più incise, comprese tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono generalmente separate da gradini morfologici. Appartengono ai tratti medio-alti dei fiumi ove dominano patterns intrecciati, rettilinei e sinuosi"; VT1 "Terrazzi fluviali stabili, delimitati da scarpate erosive evidenti, a morfologia pianeggiante o ondulata, comprendenti antiche linee di drenaggio (paleoalvei) lievemente ribassate ed affrancate dall'idromorfia"; VT2 "Terrazzi fluviali subpianeggianti condizionati da un drenaggio lento, causato dal ristagno e dal deflusso di acque provenienti da superfici più rilevate. Coincidono spesso con paleoalvei, conche e depressioni".

5.3.- DISCONTINUITÀ LONGITUDINALE

L'analisi della variazione delle pendenze dell'alveo associate alla presenza di discontinuità artificiali ha permesso di evidenziare che le numerose traverse e briglie, coincidenti essenzialmente agli sbarramenti e derivazioni delle acque per usi industriali e per usi irrigui, generano le più forti discontinuità longitudinali nel fiume. L' analisi è stata condotta confrontando le pendenze del fondo calcolate dalle 331 sezioni effettuate per lo studio di fattibilità dell'AdB-Po e lo shape "opere lineari" creato, sempre per lo stesso studio, durante l'Analisi del Catasto delle opere idrauliche. La tabella 5.2 elenca le opere artificiali utilizzate nella revisione dei tratti omogenei definiti dall'AdB-Po. La maggior parte delle traverse individuate ricade all'interno dei tratti omogenei definiti dall'AdB-Po; l'unica eccezione è la traversa al ponte di Soncino-Orzinuovi al km 154,4 che coincide con la fine del tratto OG10 e l'inizio del tratto OG09.

Tab. 5.2 - Discontinuità della pendenza del fondo generate da traverse e briglie.

Località	Traversa	Progressiva Km	Pendenza fondo (%)	Tratto AdB-Po
Sarnico	Diga di Sarnico e Centrale Montecchio	112	0,94	OG12
Capriolo	Centrale Capriolo	114	2,75	OG12
Castelli Calepio	Centrale Castelli Calepio	115,7	4,39	OG12
Tagliuno	Centrale Tagliuno	119,8	0,92	OG12
Palazzolo sull'Oglio	Traversa Palazzolo sull'Oglio	122,2	1,52	OG12
Palosco	Centrale Palosco	124,2	1,39	OG12
Cividate al Piano	Centrale Cividate al Piano	131,6	0,68	OG11
Calcio	Naviglio di Cremona e Roggia Antegnata	135,2	1,27	OG11
Urago d'Oglio	Roggia Molina	136,7	1,11	OG11
Pumenengo	Naviglio Grande Pallavicino	141,3	1,82	OG11
Torre Pallavicina	Naviglio di alimentazione impianto di acquacoltura	147,7	1,35	OG10
Soncino	SS235 Ponte Soncino-Orzinuovi	154,4	0,95	OG10-OG09
Isola Dovarese	Traversa al ponte vecchio	218,9	2,11	OG05

La confluenza dei principali affluenti crea anch'essa una discontinuità di tipo naturale perché può determinare significativi incrementi localizzati di portate liquide e/o solide. L'analisi di queste discontinuità naturali è stata condotta considerando l'applicazione del processo di tipizzazione sul fiume Oglio sub lacuale da parte di ARPA Lombardia e dai risultati dei primi tre anni di sperimentazione per la definizione del deflusso minimo vitale. È stato deciso quindi di considerare solo i quattro principali affluenti caratterizzati da valori di portata più consistenti: tra il km 126 e il km 127 entra il fiume Cherio (OG12, AdB-Po), al km 187 il fiume Strone (OG07, AdB-Po), al km 203,5 il fiume Mella (OG05, AdB-Po) ed tra il km 234 e il km 235 il fiume Chiese (OG03, AdB-Po). La tabella 5.3 illustra i 5 corpi idrici individuati da ARPA Lombardia per il fiume Oglio sublacuale.

Tab. 5.3 - Tipizzazione del fiume Oglio sub-lacuale (ARPA Lombardia)

Nome CIS	Tipologia	Nome tratto tipizzato	Inizio - termine tratto tipizzato	Codice tratto	Inizio - termine corpo idrico	Cod corpo idrico	Ecotipo	Criterio
Oglio postlacuale	F	OGLIO_POST_1	da L. Iseo a confl. Cherio	OG5	da L. Iseo a confl. Cherio	OG5_1	22	
	F	OGLIO_POST_2	dal Cherio a confl. Chiese	OG6	dal Cherio a confl. dello Strone	OG6_1	24	5 confluenza
	F	OGLIO_POST_2	dal Cherio a confl. Chiese	OG6	da Strone a confl. del Mella	OG6_2	24	5 confluenza - 3 cambio qualità SECA
	F	OGLIO_POST_2	dal Cherio a confl. Chiese	OG6	dal Mella a confl. del Chiese	OG6_3	24	
	F	OGLIO_POST_3	dal Chiese a immis. in Po	OG7	dal Chiese a immis. in Po	OG7_1	23	

5.4.- DISCONTINUITÀ LATERALE

L'analisi della cartografia e le conoscenze di campo associate agli shape delle fasce PAI A, B e C e delle opere lineari (Analisi del Catasto delle opere idrauliche) hanno permesso di identificare le discontinuità laterali, essenzialmente generate dalla presenza di argini, muri arginali e difese di sponda trasversali. La presenza di argini inizia ad interessare in modo continuo l'asta fluviale a partire dal tratto OG05 e OG04 (AdB-Po) in prossimità della confluenza del fiume Mella; inoltre dal tratto OG05, a valle del fiume Mella, le fasce PAI di deflusso di piena (A) e quella di esondazione (B) iniziano a coincidere. I tratti OG03 e OG02 (AdB-Po) sono i più artificializzati, gli argini risultano a ridosso del corso d'acqua. Nel tratto OG01, invece, argini e fasce A e B coincidono, ma non risultano adiacenti all'alveo bagnato, la zona golenale o fascia B risulta più ampia, probabilmente a causa della confluenza nel fiume Po.

La variazione della larghezza dell'alveo è stata determinata dopo avere misurato, attraverso le CTR (1:10.000) ed il software ArcGis 9.0, la larghezza dell'alveo fluviale ad ogni km di fiume, a partire dalla diga di Sarnico fino alla foce in Po, per un totale di 155 valori. Le singole osservazioni sono state raggruppate secondo i tratti definiti dall'AdB-Po e per ciascuno di essi è stata calcolata la larghezza media con l'errore standard (tab. 5.4). Dalla tabella 5.4 risulta chiaro che il tratto OG5 divide l'asta fluviale in due tratti di fiume caratterizzati da una larghezza media dell'alveo molto diversa. E' stato quindi deciso di suddividere il corso del fiume in due tratti: dal km 110,9 al km 221,7 (dal tratto OG12 al tratto OG05 compreso dell'AdB-Po) e dal km 221,7 al km 267 (tratto da OG04 a OG01 dell'AdB Po), rispettivamente caratterizzati da una larghezza media di 44±16 metri e di 88±20 metri.

Tab. 5.4 - Larghezza media dell'alveo ed errore standard calcolato per i tratti dell'AdB-Po.

Tratto AdB-Po	Prog. I_km	Prog.F_km	Larghezza media dell'alveo	errore standard
OG 12	110,94	128,28	48,80	± 5,78
OG 11	128,28	143,26	33,52	± 2,54
OG 10	143,26	154,45	34,08	± 1,33
OG 09	154,45	162,02	35,49	± 5,29
OG 08	162,02	175,58	35,00	± 2,86

Tratto AdB-Po	Prog. I_km	Prog.F_km	Larghezza media dell'alveo	errore standard
OG 07	175,58	187,02	43,90	± 3,42
OG 06	187,02	202,95	47,04	± 2,26
OG 05	202,95	221,73	62,12	± 3,52
OG 04	221,73	227,22	83,87	± 7,32
OG 03	227,22	240,45	82,46	± 5,66
OG 02	240,45	258,99	92,17	± 3,71
OG 01	258,99	267,13	92,73	± 10,06

5.5.- DISCONTINUITÀ NELLA GRANULOMETRIA DELL'ALVEO

L'analisi della granulometria dell'alveo è stata condotta combinando i risultati della relazione "Determinazione sperimentale delle caratteristiche granulometriche dell'alveo" dell'AdB-Po con quelli di campo. Durante i campionamenti dei primi due anni di sperimentazione è stato osservato un cambiamento nella trasparenza delle acque da limpide a torbide coincidente con una variazione della granulometria del fondo da grossolano (ghiaia>70%) a fine (sabbia >80%) tra la stazione presso il ponte di Castelvisconti-Acqualunga al km170-171 ed il successivo ponte di Bordolano-Quinzano d'Oglio al km 175-176. Tale variazione coincide con la fine del tratto OG08 e l'inizio del tratto OG07 dell'AdB-Po.

5.6.- IMPORTANZA RELATIVA DEI CRITERI DEFINITI PER LA SUDDIVISIONE DEL FIUME OGLIO SUBLACUALE IN TRATTI OMOGENEI FINALIZZATI ALLA DEFINIZIONE E GESTIONE DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE DEL FIUME STESSO.

Il fiume Oglio sublacuale è caratterizzato dalla presenza di sei centrali idroelettriche nei primi 22 km del suo corso. Questo tratto di fiume risulta frammentato dalla presenza degli sbarramenti per il prelievo di acqua da destinare alle centrali idroelettriche che determinano un alternanza di parti di fiume "bacinizzate" e parti di fiume "lotiche con bassi valori di portata", non consoni alla natura del fiume stesso. Nell'ottica della definizione e gestione del deflusso minimo vitale a valle di tali sbarramenti è stato deciso di considerare i primi 22km di fiume come un tratto distinto dal resto del fiume e di suddividere questo tratto in sottotratti, caratterizzati appunto dalla natura "lentica di bacini" o da quella "lotica delle zone sottese".

I restanti 132 km di fiume sono stati suddivisi considerando come criterio più importante la discontinuità longitudinale determinata dalle numerose traverse per il prelievo di acqua a scopo irriguo e per la stabilità dei ponti, qualora la loro presenza determini una variazione della pendenza del fondo dell'alveo dell'1%: OGS_1 termina alla traversa a Calcio per il Naviglio di Cremona e Roggia Antegnata; OGS_2 termina alla traversa a Urago d'Oglio per Roggia Molina; OGS_3 termina alla traversa a Pumenengo per Naviglio Grande Pallavicino; OGS_4 termina alla traversa a Pumenengo per Cavo Molinara; OGS_5 termina alla traversa per Cavo di suppeditazione; OGS_6 termina alla traversa al ponte di Soncino e OGS_11 termina alla traversa al ponte di Isola Dovarese.

I tratti OGS_7, OGS_8, OGS_9 e OGS_10 rispecchiano la suddivisione dei tratti AdB-Po, rispettivamente OG9, OG8, OG7 e OG6. Sono stati considerati in ordine di importanza i criteri inerenti: l'unità di paesaggio per il tratto OGS_7 per il quale da VA8 si passa a VA8 e VA6 nel tratto OGS_8; la discontinuità della granulometria del fondo dell'alveo per il tratto OGS_8 e la discontinuità naturale generata dalla presenza e dal trasporto solido nel fiume Oglio del fiume Strone per il tratto OGS_9 e del fiume Mella

per il tratto OGS_10. Questi ultimi tratti hanno quindi considerato la suddivisione definita nel processo di tipizzazione da ARPA Lombardia.

Proseguendo, la fine del tratto OGS_11, del tratto OGS_12, del tratto OGS_14 e del tratto OGS_15 è stata determinata sempre dal cambiamento di unità di paesaggio: da VA6/VA8 a VA6/VA8/VA3 per il primo tratto, da VA8/VA3 a VA6/VA3 per il secondo, da VA6/VA3/VA4 a VA6/VA4 per il terzo e da VA6/VA3 a VA6/VA3/VA4 per il quarto.

Il tratto OGS_13 è stato delimitato dalla confluenza nel fiume Oglio del fiume Chiese (discontinuità naturale e tipizzazione).

Infine il tratto OGS_16 termina con la confluenza in Po del fiume Oglio sublacuale.

La tabella 5.5 riassume i 16 tratti e le discontinuità che hanno generato la fine e l'inizio di ogni tratto, mentre la tabella 5.6 riporta la chilometrica di inizio e fine tratto. Infine, la figura 5.3 illustra il corso del fiume suddiviso nei 16 tratti definiti dal presente lavoro. Il tratto OGS_1 è ripartito in 13 sotto-tratti per la presenza degli sbarramenti delle sei centrali idroelettriche che lo caratterizzano (Fig. 5.4). I sotto-tratti sono distinti dalla lettera A ad indicare i tratti bacinizzati, a monte degli sbarramenti, e dalla lettera B ad indicare quelli sottesi, a valle degli sbarramenti delle centrali.

Tab. 5.5 - Elenco dei 16 tratti definiti considerando le caratteristiche morfologiche e le discontinuità incidenti sul fiume Oglio sublacuale.

Tratti	Delimitazione	
OGS_1	Discontinuità longitudinale artificiale	Traversa di Calcio (Naviglio di Cremona e Roggia Antegnata)
OGS_2	Discontinuità longitudinale artificiale	Traversa di Urago d'Oglio (Roggia Molina)
OGS_3	Discontinuità longitudinale artificiale	Traversa di Pumenengo (Naviglio Grande Pallavicino)
OGS_4	Discontinuità longitudinale artificiale	Traversa di Pumenengo (Cavo Molinara)
OGS_5	Discontinuità longitudinale artificiale	Traversa (Cavo di suppeditazione)
OGS_6	Discontinuità longitudinale artificiale	Traversa al ponte di Soncino
OGS_7	Discontinuità pedologica	VA8 --> VA8/VA6
OGS_8	Discontinuità granulometrica	dal 70% ghiaia a 70% sabbia
OGS_9	Discontinuità longitudinale naturale	confluenza del fiume Strone
OGS_10	Discontinuità longitudinale naturale	confluenza del fiume Mella
OGS_11	Discontinuità longitudinale artificiale	Traversa al ponte di Isola Dovarese
OGS_12	Discontinuità pedologica	da VA8/VA3 a VA6/VA3
OGS_13	Discontinuità longitudinale naturale	confluenza del fiume Chiese
OGS_14	Discontinuità pedologica	da VA6/VA3/VA4 a VA6/VA4
OGS_15	Discontinuità pedologica	da VA6/VA3 a VA6/VA3/VA4
OGS_16		

Tab. 5.6 – Chilometrica iniziale e finale dei 16 tratti e dei 13 sotto-tratti del segmento OGS_1 definiti considerando le caratteristiche morfologiche e le discontinuità incidenti sul fiume Oglio.

TRATTI PROPOSTI	Località di inzio tratto	prog. Km_inizio	prog. Km_fine	Discontinuità che genera la fine del tratto
OGS_1_1A	Lago d'Iseo	110,9	112,1	Sbarramento diga di Sarnico
OGS_1_1B	Sarnico-Fosio	112,1	113,3	Restituzione Centrale Montecchio
OGS_1_2A	Credaro	113,3	114,0	Sbarramento Centrale N.K.
OGS_1_2B	Capriolo	114,0	114,6	Restituzione Centrale N.K.
OGS_1_3A	Capriolo	114,6	115,7	Sbarramento Centrale Enel
OGS_1_3B	Castelli Calepio	115,7	117,8	Restituzione Centrale Enel
OGS_1_4A	Tagliuno	117,8	119,7	Sbarramento Centrale Italgen
OGS_1_4B	Ponte Oglio	119,7	122,7	Restituzione Centrale Italgen e traversa di Palazzolo sull'Oglio
OGS_1_5A	Palazzolo sull'Oglio	122,7	124,2	Sbarramento Centrale Elettra
OGS_1_5B	fine di Palazzolo sull'Oglio	124,2	125,7	Restituzione Centrale Elettra
OGS_1_6A	Palosco	125,7	128,6	Ingresso fiume Cherio e traversa di Pontoglio
OGS_1_7A	Pontoglio	128,6	131,6	Sbarramento Centrale ex. Marzoli
OGS_1_7B	Cividate al Piano	131,6	135,1	Restituzione Centrale ex. Marzoli e traversa Naviglio Civico di Cremona e Roggia Antegnata
OGS_2	Calcio	135,1	136,4	Traversa di Urago d'Oglio (Roggia Molina)
OGS_3	Urago d'Oglio	136,4	141,3	Traversa di Pumenengo (Naviglio Grande Pallavicino)
OGS_4	Pumenengo	141,3	143,6	Traversa di Pumenengo (Cavo Molinara)
OGS_5	Pumenengo	143,6	147,2	Traversa (Cavo di suppeditazione)
OGS_6	Torre Pallavicina	147,2	154,4	Traversa ponte Soncino-Orzinuovi
OGS_7	Soncino	154,4	162,5	Discontinuità pedologica
OGS_8	Bompensiero	162,5	175,2	Discontinuità granulometria
OGS_9	Bordolano	175,2	186,8	Confluenza del fiume Strone
OGS_10	Pontevico	186,8	203,0	Confluenza del fiume Mella
OGS_11	Binanuova	203,0	219,0	Traversa al ponte di Isola Dovarese
OGS_12	Isola Dovarese	219,0	227,2	Discontinuità pedologica
OGS_13	Canneto sull'Oglio	227,2	234,7	Confluenza del fiume Chiese
OGS_14	Calvatone	234,7	240,5	Discontinuità pedologica
OGS_15	Mosio	240,5	259,0	Discontinuità pedologica
OGS_16	Gazzuolo	259,0	267,1	Foce nel fiume Po

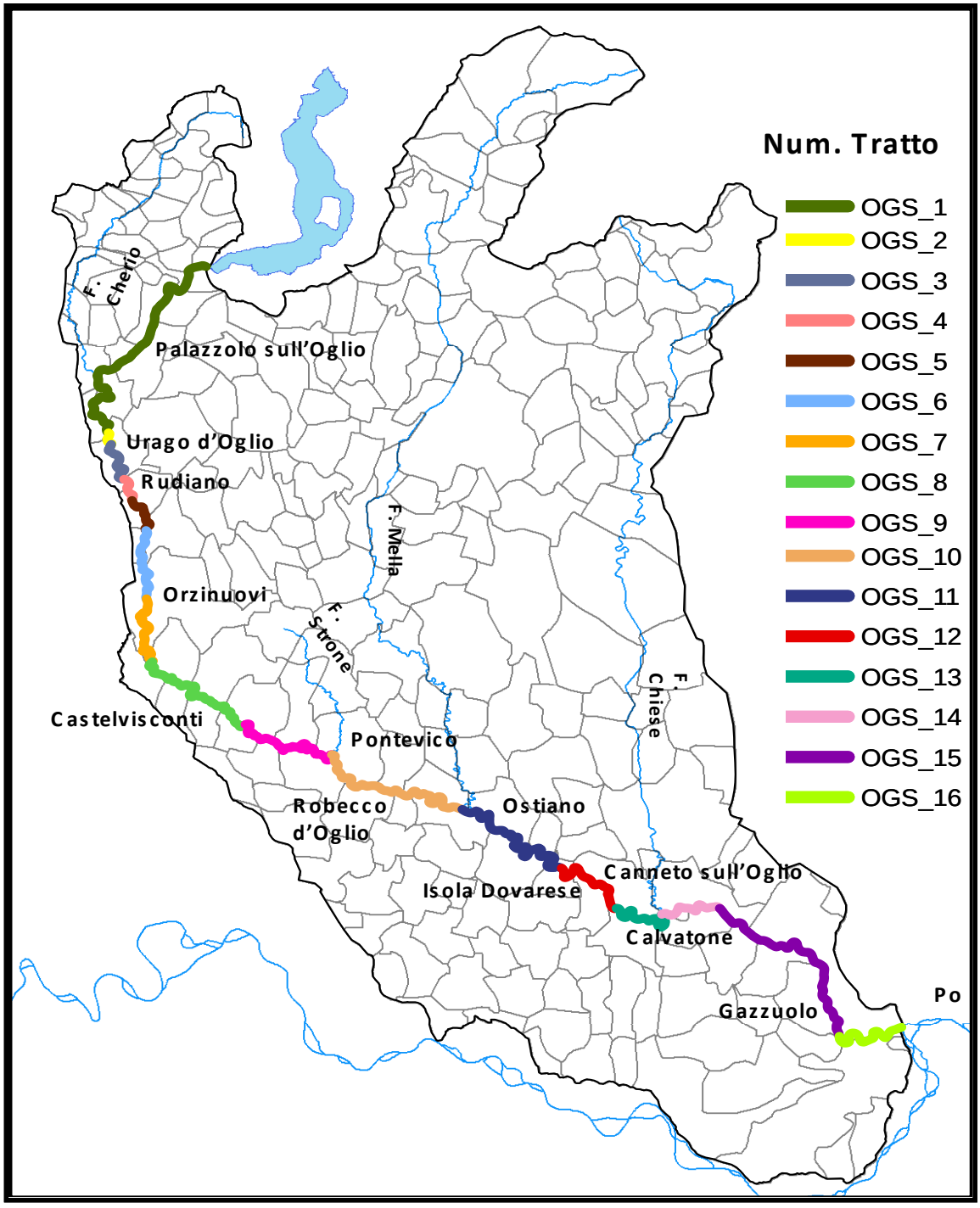


Fig. 5.3 - Mappa del bacino del fiume Oglio sublacuale con i 16 tratti fluviali definiti nel presente progetto.

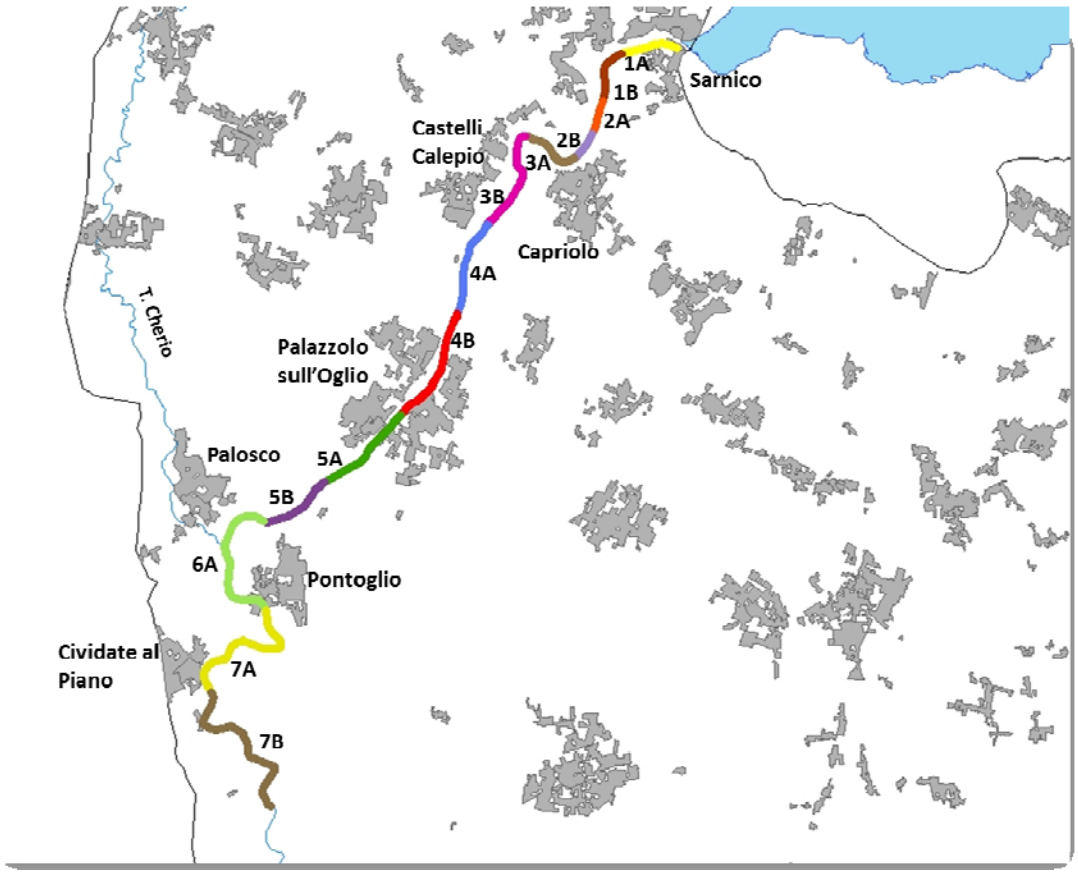


Fig. 5.4 - Sotto-tratti in cui è stato suddiviso il Tratto OGS_1 definito nel presente progetto (A: tratto bacinizzato; B: tratto sotteso).

6. ANALISI STATISTICA dei dati chimico-fisici del fiume Oglio sublacuale per la definizione di tratti omogenei dal punto di vista del metabolismo fluviale e delle comunità macrozoobentonica e macrofitica

La definizione del Deflusso Minimo Vitale per i tratti fluviali va, di pari passo con la conoscenza del sistema fluviale e delle sue funzioni metaboliche e della capacità di au-to-depurazione delle acque, identificata in relazione allo stato di conservazione delle comunità biologiche indicatrici, che sono oggetto di analisi nell'ambito della presente sperimentazione. Va da sé che i processi fluviali non seguono la suddivisione nei 16 tratti (o 27 tratti) stabilita con l'analisi morfologica, la presenza di traverse non modifica sostanzialmente il chimismo delle acque, che viene influenzato principalmente da altri fattori sia interni che esterni al sistema. Da questa considerazione scaturisce la necessità di studiare i dati, raccolti lungo l'asta fluviale, nel loro insieme al fine di indagare se sia possibile suddividere il corso del fiume in base ai processi interni e quindi alla risposta a pressioni antropiche (sorgenti di inquinamento puntiformi e diffuse) e a interazioni con acque superficiali provenienti dagli affluenti e con acque sotterranee. L'analisi a macroscala è stata quindi condotta attraverso l'utilizzo dell'analisi statistica delle componenti principali (PCA) sui dati idrochimici delle stazioni di monitoraggio. L'analisi del dataset acquisito nel corso del presente progetto ha permesso di ripartire le stazioni in tre raggruppamenti differenziati dal chimismo delle acque e che permet-tono di ipotizzare che il sistema fluviale sia composto da tre tratti con funzionalità differente. Inoltre, è stato effettuato lo studio delle comunità macrozoobentonica e macrofitica tramite l'analisi dell'NMDS in modo da validare e/o migliorare la suddivisione in tratti effettuata sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque e di quelle morfologiche Le informazioni raccolte sulla comunità diatomica sono risultate insufficienti per sostenere la suddivisione in tratti.

6.1.- AZIONE CHIMICO-FISICA

L'elevato numero di stazioni proposte e campionate nel presente progetto di sperimentazione è motivato dall'esigenza di raccogliere il maggiore numero di informazioni sul sistema fluviale al fine di disporre al termine dei tre anni di un adeguato livello informativo del sistema in analisi sostenuto, appunto, dal numero robusto di dati raccolti. Tale obiettivo è stato raggiunto attraverso l'analisi statistica della PCA (Principal Component Analysis) sull'intero dataset dei dati idrochimici (Rossi et al., 2009; Borcard et al., 2011).

In generale, la tecnica di statistica multivariata della PCA viene usata per ridurre un numero elevato di variabili e informazioni di un sistema ambientale a una o due variabili o componenti principali, che da sole sono in grado di spiegare e prevedere il funzionamento del sistema. Se n rappresenta il numero di unità ambientali che sono state sperimentate (per il fiume Oglio n sono le 50 stazioni fluviali) e k rappresenta il numero di variabili ambientali misurate in ogni unità ambientale (per il fiume Oglio sono le 17 variabili idrochimiche misurate), allora con la PCA si è in grado di ridurre la dimensione dalle k variabili (k=17) a poche (da 1 a 4) variabili o componenti principali che saranno in grado di spiegare il sistema.

Per il presente progetto, l'Analisi delle Componenti Principali è stata effettuata con il software statistico R (2.14.1), pacchetto "vegan" (R-Development-Core-Team, 2010; Oksanen, 2011). Dal dataset utilizzato sono state eliminate le stazioni di campionamento degli immissari e le stazioni fluviali che durante il corso del triennio di sperimentazione sono state abolite. I parametri chimico-fisici considera-

ti nell'analisi sono stati temperatura, pH, saturazione percentuale di ossigeno, conducibilità, solidi sospesi totali, carbonio inorganico disciolto, metano disciolto, azoto nitrico, azoto ammoniacale, azoto totale particellato, fosforo reattivo solubile, fosforo totale particellato, domanda chimica di ossigeno e clorofilla a-fitoplanctonica. I parametri misurati durante le campagne di misura non considerati nell'analisi della PCA sono: le unità formanti colonie di Escherichia coli, perché sono stati misurati solo in 19 stazioni; ossigeno disciolto espresso in mg l^{-1} perché ridondante rispetto alla percentuale di saturazione; domanda biologica di ossigeno perché non dà informazioni aggiuntive rispetto alla domanda chimica di ossigeno presentando lo stesso andamento; la concentrazione di azoto nitroso perché rappresenta meno dell'1% dell'azoto totale; azoto totale perché è composto per più del 70% dall'azoto nitrico ed in ogni modo nell'analisi è incluso l'azoto ammoniacale ed il particellato; fosforo totale perché anche in questo caso si è preferito sostituirlo con fosforo totale particellato e fosforo reattivo solubile.

Quando i dati ecologici da analizzare sono strutturati in gradienti, è meglio analizzare il dataset secondo tecniche statistiche di "ordinamento senza costrizioni" che estraggono i principali trend nella forma di assi continui. Lo scopo dei metodi di ordinamento è quello di rappresentare i dati lungo un numero ridotto di assi ortogonali, senza limiti in modo che essi rappresentino in ordine decrescente i principali trend dei dati. La PCA si basa sul metodo degli auto-vettori, mantiene la distanza euclidea tra siti e rileva relazioni lineari. Quando le variabili sono dimensionalmente eterogenee, come nel caso del fiume Oglio, il metodo utilizza la matrice di correlazione derivante dalle variabili piuttosto che la matrice delle covarianze. La PCA conduce ad una rotazione del sistema originale degli assi definito dalle variabili, tale che i nuovi assi (chiamati componenti principali) siano ortogonali l'un l'altro e corrispondano alle nuove dimensioni della varianza massima della dispersione dei punti. Il diagramma di ordinamento della PCA consiste nel diagramma a dispersione nel sistema di coordinate cartesiane dove gli oggetti (stazioni o siti) sono rappresentati da punti e le variabili (parametri chimico-fisici) sono mostrati come frecce. Il principio base del metodo dell'ordinamento in spazi ridotti è che partendo da un dataset di n oggetti e p variabili n per p (nxp), gli n oggetti possono essere rappresentati come un gruppo di punti in uno spazio dimensionale p (multidimensionale). Questo gruppo (cluster) è in genere non sferoide, è allungato verso alcune direzioni e appiattito verso altre. Queste direzioni non sono necessariamente allineate secondo una singola direzione (= una singola variabile) dello spazio multidimensionale. La direzione dove il cluster è più allungato corrisponde alla direzione con la più grande varianza del cluster e rappresenterà il primo asse dell'ordinamento. L'asse successiva estratta sarà la seconda più importante nello spiegare la varianza dei dati e sarà ortogonale alla prima e quindi linearmente indipendente e non correlata con la prima. Tale processo continua finché non sono determinati tutti gli assi o componenti principali. Ogni componente principale è una combinazione lineare delle p variabili pesate per un coefficiente o autovettore.

Per convenzione nell'analisi dei dati ecologici, si sceglie il numero di componenti principali (PC) che insieme spiega almeno il 70% della varianza. Con il pacchetto vegan di R è possibile scegliere le PC che spiegano la maggiore variabilità del sistema attraverso il "broken stick model". Questo metodo divide in modo randomizzato un bastoncino di lunghezza unitaria nello stesso numero di pezzi quanti sono gli assi della PCA. I pezzi sono messi in ordine descrescente di lunghezza e comparati agli autovalori. Gli assi della PCA per i quali i rispettivi autovalori sono più grandi della lunghezza dei corrispondenti pezzi del bastoncino speigano la massima variabilità.

Una volta realizzata una PCA, per capire quali variabili incidono maggiormente su ogni componente principale, si analizzano i coefficienti di ogni PC attraverso l'analisi della correlazione con i dati di origine o variabili. Il coefficiente τ di Kendall è consigliato rispetto a quelli r di Pearson e a ρ di Spearman. La correlazione di Pearson prevede una distribuzione normale dei dati e quella di Spearman è poco sensibile all'individuazione della dipendenza tra variabili.

Riassumendo, l'analisi della PCA è stata eseguita per ogni campagna di misura (n° parametri chimico-fisici = 14, n° stazioni fluviali = 48) e per stagione utilizzando il valore medio dei dati chimico-fisici generato dalla stessa stagione campionata nei tre anni di sperimentazione (n° parametri chimico-fisici = 16, n° stazioni fluviali = 48). I risultati ottenuti per singola campagna e per stagione non sono differenti, per questo motivo di seguito sono trattati i risultati per stagione. Infine per individuare quali variabili (n° parametri chimico-fisici = 14) sono maggiormente correlati con ogni componente principale è stato calcolato il coefficiente τ di Kendall. La PCA per ogni stagione è stata infine corredata con l'analisi tra le componenti principali e i valori medi delle misure di portata effettuate in concomitanza del campionamento delle acque. Il pacchetto vegan di R permette attraverso la funzione "envfit" di proiettare sul diagramma della PCA una variabile ambientale che possa aiutare a spiegare i cambiamenti nei valori delle altre variabili. Tale variabile è riprodotta come vettore e aggiunta nel diagramma della PCA in modo che il vettore abbia massima correlazione con le corrispondenti variabili ambientali. Sempre grazie al pacchetto vegan, attraverso la funzione "ordisurf" i valori medi delle misure di portata sono stati proiettati sul diagramma della PCA come isolinee ovvero un insieme di linee che uniscono punti aventi lo stesso valore sulla superficie in base al parametro portata.

L'analisi delle componenti principali applicata ai dati idrochimici medi stagionali del fiume Oglio sublacuale ha permesso di ridurre le variabili in grado di spiegare il sistema fluviale da 14 a 2. Il modello "broken stick" ha infatti selezionato per tutte le stagioni analizzate la prima e la seconda componente principale (PC1 e PC2), come le due variabili in grado di spiegare circa il 70% della variabilità del sistema. I grafici a dispersione nelle figure da 6.1 a 6.4 mostrano come si dispongono le stazioni fluviali lungo le componenti principali PC1 e PC2, che come è stato spiegato sono ortogonali tra loro, nelle stagioni estate, autunno, inverno e primavera. Inoltre i grafici riportano le variabili come frecce, la punta di ogni freccia corrisponde alle coordinate della variabile o meglio ai coefficienti della variabile per la PC1 e per la PC2. Questa rappresentazione facilita l'obiettivo di individuare più sottogruppi di stazioni fluviali entro il gruppo di partenza, utilizzando un numero più piccolo di nuove variabili, PC1 e PC2, rispetto a quello originario. I sottogruppi così derivati sono stati quindi studiati e caratterizzati analizzando i coefficienti delle corrispondenti PC. In particolare, la circonferenza che compare nei grafici rappresenta la circonferenza di equilibrio: il suo raggio è dato $\sqrt{(d / p)}$, dove d è il numero delle dimensioni utilizzate per la rappresentazione della PCA (le componenti principali) e p il numero delle variabili di origine. Il raggio della circonferenza di equilibrio riproduce la lunghezza del vettore rappresentante una variabile che contribuirebbe in modo uguale nel generare le due dimensioni nello spazio della PCA. Quindi, per ogni coppia di assi data, le variabili che hanno i vettori più lunghi di questo raggio influenzano in modo rilevante le due dimensioni nello spazio della PCA. Per completezza, è stata calcolata la correlazione (τ di Kendall) tra le componenti principali e le variabili di partenza per ogni stagione (fig. V- XII in allegato I). Le figure V-XII in allegato I rappresentano sulla diagonale principale i parametri testati, il primo è la PC e i seguenti sono tutte le variabili chimico-fisiche utilizzate per l'analisi della PCA. Ciò che interessa riguarda la correlazione tra PC e variabili, quindi è necessario focalizzare l'attenzione sulla prima riga che rappresenta l'incrocio della PC con ogni variabile e riporta il coefficiente di correlazione, la dimensione del carattere è proporzionale alla significatività della correlazione; e sulla prima colonna che illustra l'andamento dei dati, ponendo il parametro che proviene dall'alto (la PC) sull'asse x e quello che deriva da destra sull'asse y.

La figura 6.1 mostra un gradiente dall'alto verso il basso, partendo da un gruppo formato dalle stazioni da 1 a 30A che mostrano valori più alti di azoto ammoniacale (NH4) e pH e valori più bassi di azoto nitrico (NO3), conducibilità (Cond) e carbonio inorganico disciolto (DIC).

Al contrario il secondo gruppo di stazioni dalla 33 alla 44 ha i valori più alti di azoto nitrico (NO3), conducibilità (Cond) e carbonio inorganico disciolto (DIC) e più bassi per i restanti parametri. È presente anche un gradiente da destra verso sinistra, ovvero dalle stazioni del secondo gruppo alle stazioni dalla 45 alla 77 che sono invece caratterizzate da valori crescenti di domanda chimica di ossigeno (COD), clorofilla a fitoplanctonica (Chla), fosforo e azoto totale particellato (TPP e TPN), fosforo reatti-

vo solubile (PO4), solidi sospesi totali (SST), metano disciolto (CH4), e simili per i parametri NO3, DIC e Cond. Infine i parametri COD, Chla, TPP, TPN, PO4, SST, CH4 mostrano il valore massimo intorno alle stazioni 79B e 80.

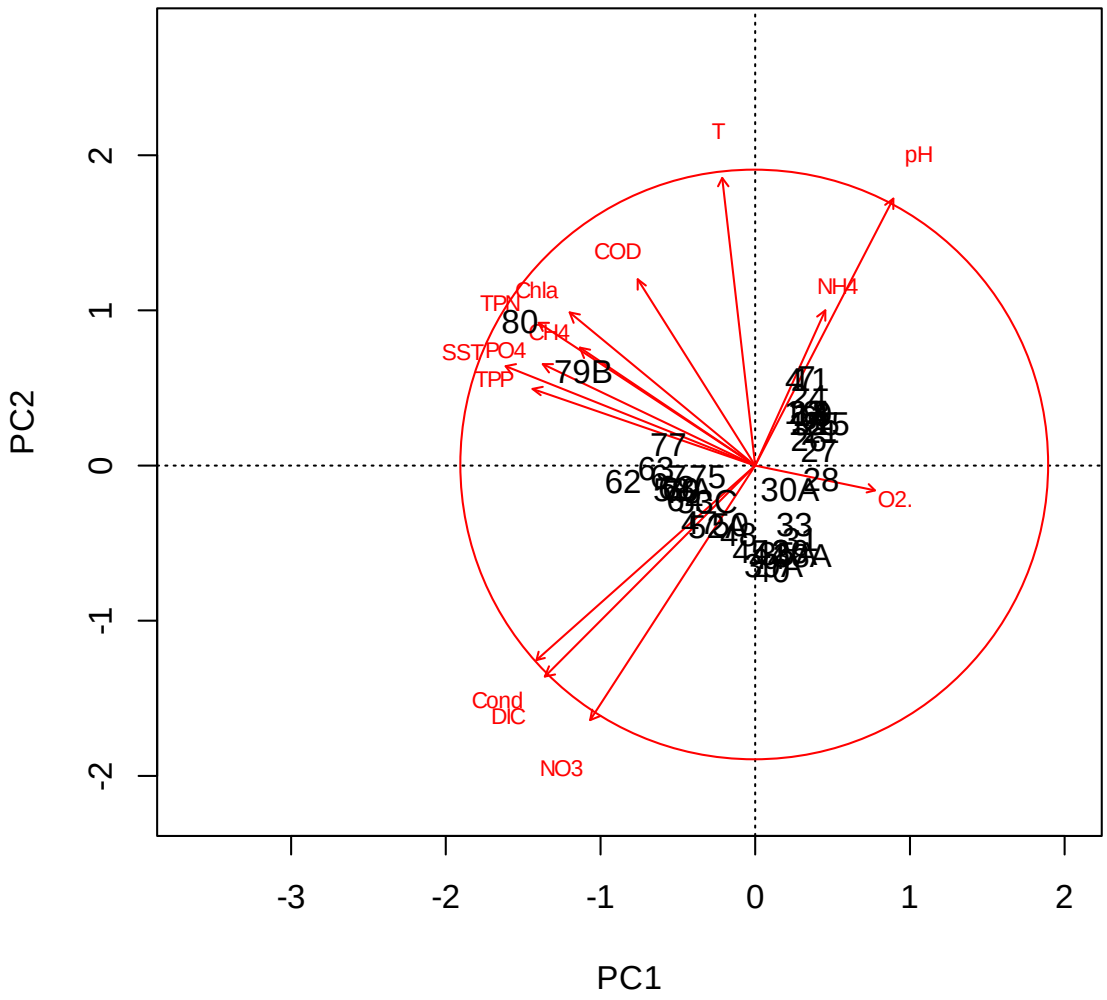


Fig. 6.1.- Risultato grafico dell' analisi PCA. Posizione delle 48 stazioni fluviali del fiume Oglio lungo le 2 componenti PC1 e PC2 originatesi dall'analisi dei valori medi estivi dei parametri idrochimici misurati durante i tre anni di progetto. Le frecce rosse indicano l'importanza di ogni parametro nel determinare la posizione delle stazioni nel piano cartesiano. Il cerchio determina la significatività del parametro.

Le componenti principali sono influenzate in modo rilevante dalla variabile azoto nitrico che mostra il vettore al di fuori della circonferenza di equilibrio, seguita in modo non significativo da conducibilità e DIC. Anche le variabili pH e temperatura sembrano influenzare le dimensioni della PCA. Le figure V e VI in allegato I mostrano in effetti che la PC1 è determinata dall'importanza dei coefficienti di azoto nitrico, conducibilità e DIC (τ di Kendall rispettivamente 0.5, 0.71 e 0.69), mentre la PC2 dai coefficienti di pH e Temperatura (τ di Kendall rispettivamente 0.65 e 0.69). La disposizione a ferro di cavallo delle stazioni fluviali nello spazio bidimensionale della PCA caratterizza il sistema fluviale solo nella stagione estiva. I tre sottogruppi individuati dalla PCA esprimono essenzialmente il gradiente nord sud del corso del fiume, dalla diga di Sarnico alla foce nel fiume Po. La PCA conferma che il fiume Oglio non presenta problemi di anossia e la richiesta di ossigeno per degradare la sostanza organica risulta rilevante solo nelle ultime due stazioni potamali. In modo analogo le maggiori concentrazioni di metano nelle acque risultano nel tratto finale del fiume Oglio. Da un sistema con acque limpide e basse concentrazioni di clorofilla a fitoplanctonica e azoto e fosforo particellato e fosforo inorganico, il sistema si arricchisce procedendo verso sud a partire dalla stazione 45. Conducibilità, DIC e azoto nitrico

non presentano invece un gradiente ma piuttosto caratterizzano una zona ben distinta dell'asta fluviale, quella in cui, come ipotizzato nelle relazioni annuali, interagiscono e siano dominanti le acque di falda. Osservando inoltre il vettore temperatura, la zona dalla stazione 33 alla 44 presenta valori di temperatura più bassi rispetto al resto del fiume, indicando ancora una volta l'influenza delle acque di falda. Per facilitare l'interpretazione dei dati, è stato aggiunto al grafico della PCA il vettore indicante l'influenza della quantità di acqua in transito nel sistema (misura di portata) e le isolinee lungo il corso del fiume dello stesso parametro (fig. 6.5). I valori di portata più bassi caratterizzano proprio la zona dalla stazione 33 alla stazione 44, tale zona è a valle del tratto fluviale caratterizzato da 16 derivazioni irrigue che per l'appunto nel periodo estivo prelevano acqua fluviale e la allontanano verso le campagne. Per concessione tali derivazioni possono prelevare tutta l'acqua scaricata dalla diga di Sarnico e quindi a valle della traversa del Naviglio Grande Pallavicino i valori di portata dovrebbero essere nulli. In realtà, a valle di tale derivazione irrigua scorre il 5% della portata media naturale e i $m^3 s^{-1}$ di acqua tendono ad aumentare dalla stazione 33 alla 44, probabilmente grazie all'alimentazione dalle acque sub-superficiali che caratterizzano i parametri chimico-fisici misurati in questo tratto di fiume. Dalla stazione 45 in poi il contributo delle acque di falda sembre diminuire rispetto a quello delle acque di scolo derivanti dal bacino.

Nella stagione autunnale non sono invece evidenti i tre sottogruppi individuati per la stagione estiva (fig. 6.2). Le stazioni si posizionano essenzialmente lungo la PC1 e da destra verso sinistra mostrando un sottogruppo dalla stazione 1 alla stazione 45 caratterizzato da acque più ossigenate e temperature più alte. Le stazioni dalla 45 alla 80 hanno invece valori più alti dei nutrienti nella forma inorganica e particellata, della conducibilità, dei solidi sospesi totali e dei valori di DIC. I vettori di CH4, pH e Chla risultano rilevanti nell'influenzare la PC2. Le figure VII e VIII in allegato I mostrano però che la maggior parte delle variabili contribuisce in modo rilevante alla PC1 piuttosto che alla PC2. Anche il vettore e le isolinee dei valori di portata in figura 6.6 presentano valori crescenti da monte verso valle e quindi da destra verso sinistra lungo la PC1.

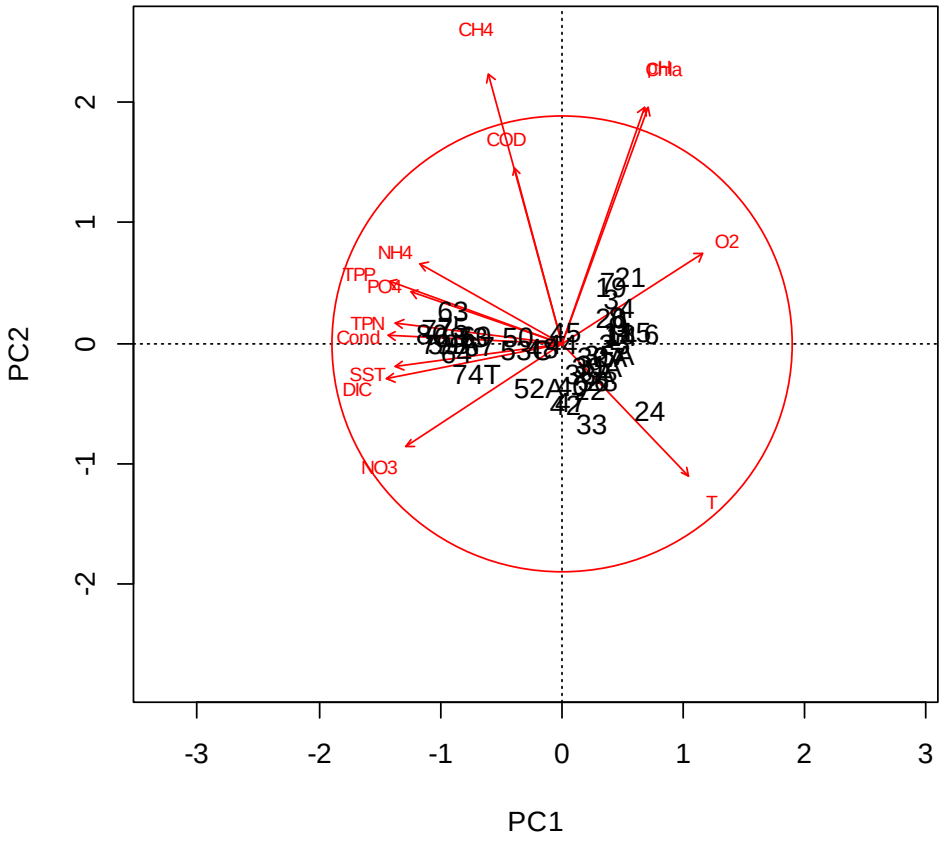


Fig. 6.2.- Risultato grafico dell' analisi PCA. Posizione delle 48 stazioni fluviali del fiume Oglio lungo le 2 componenti PC1 e PC2 originatesi dall'analisi dei valori medi autunnali dei parametri idrochimici misurati durante i tre anni di progetto. Le frecce rosse indicano l'importanza di ogni parametro nel determinare la posizione delle stazioni nel piano cartesiano. Il cerchio determina la significatività del parametro.

Anche la stagione invernale, come quella autunnale mostra essenzialmente una distribuzione delle stazioni lungo la PC1 e anche in questo caso si possono distinguere due sotto-gruppi (fig. 6.3). I vettori che superano il raggio della circonferenza di equilibrio e che contribuiscono in modo rilevante alle componenti principali sono temperatura, domanda chimica di ossigeno e concentrazione di clorofilla a fitoplanctonica. Come per l'autunno, la PC1 è correlata con la maggiore parte delle variabili (fig. IX e X in allegato I). La figura 6.7 mostra il grafico della PCA con i valori di portata crescenti lungo la PC1 dalle stazioni di origine del fiume alle stazioni verso la confluenza in Po.

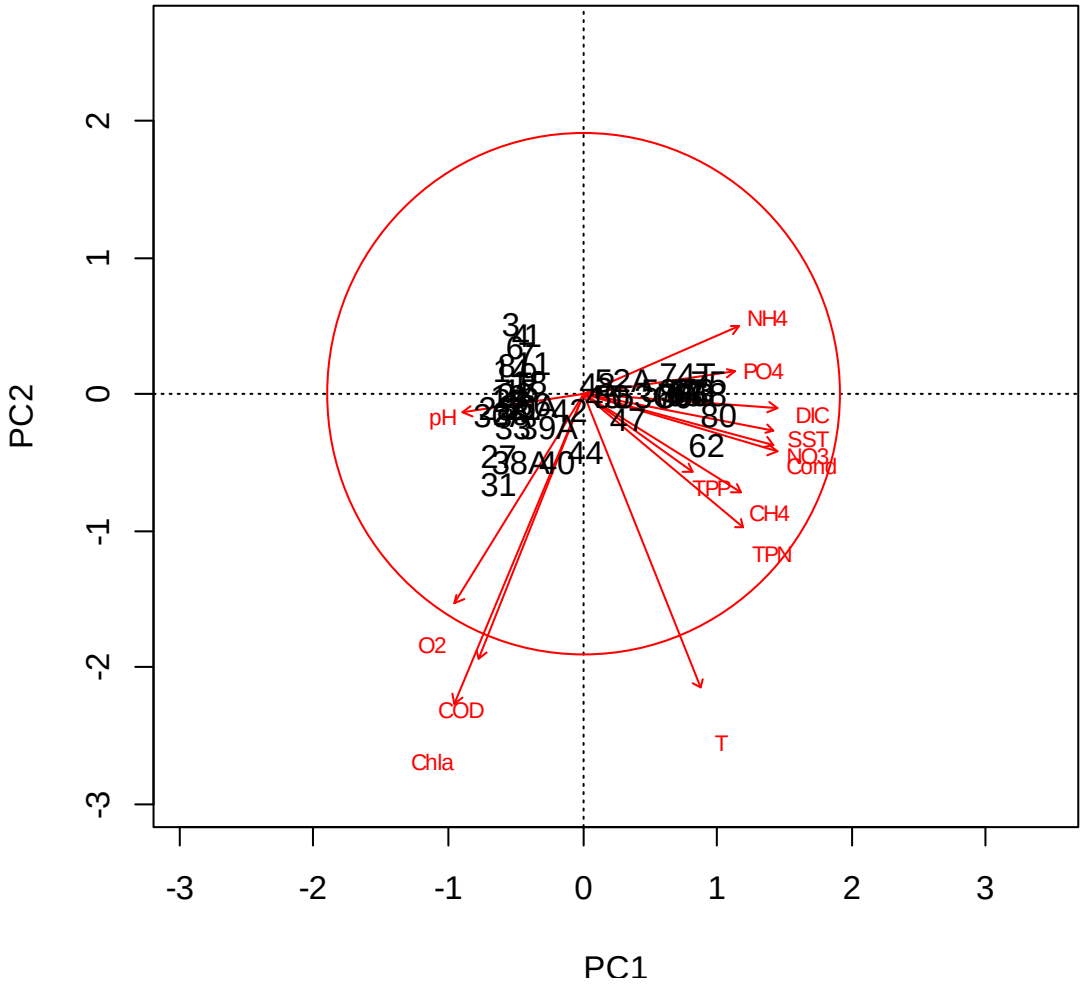


Fig. 6.3.- Risultato grafico dell' analisi PCA. Posizione delle 48 stazioni fluviali del fiume Oglio lungo le 2 componenti PC1 e PC2 originatesi dall'analisi dei valori medi invernali dei parametri idrochimici misurati durante i tre anni di progetto. Le frecce rosse indicano l'importanza di ogni parametro nel determinare la posizione delle stazioni nel piano cartesiano. Il cerchio determina la significatività del parametro.

La stesse considerazioni per le stagioni autunnali e invernali sono confermate per la stagione primaverile. Le stazioni dalla 45 alla 77 presentano valori più alti di solidi sospesi, azoto particellato, conducibilità, azoto nitrico, carbonio inorganico disciolto e fosforo reattivo solubile (fig. XI in allegato I). I valori più alti di COD, fosforo particellato, metano e temperatura sono presso la stazione 80. L'unica variabi-

le che risulta rilevante nel definire la PC2 è la concentrazione di clorofilla a fitoplanctonica come risulta anche dalla correlazione di Kendall (fig. XII in allegato I). Il vettore e le isolinee dei valori di portata in figura 6.8 mostrano anche in primavera un aumento lungo la componente PC1 dalla stazione 1 alla 80.

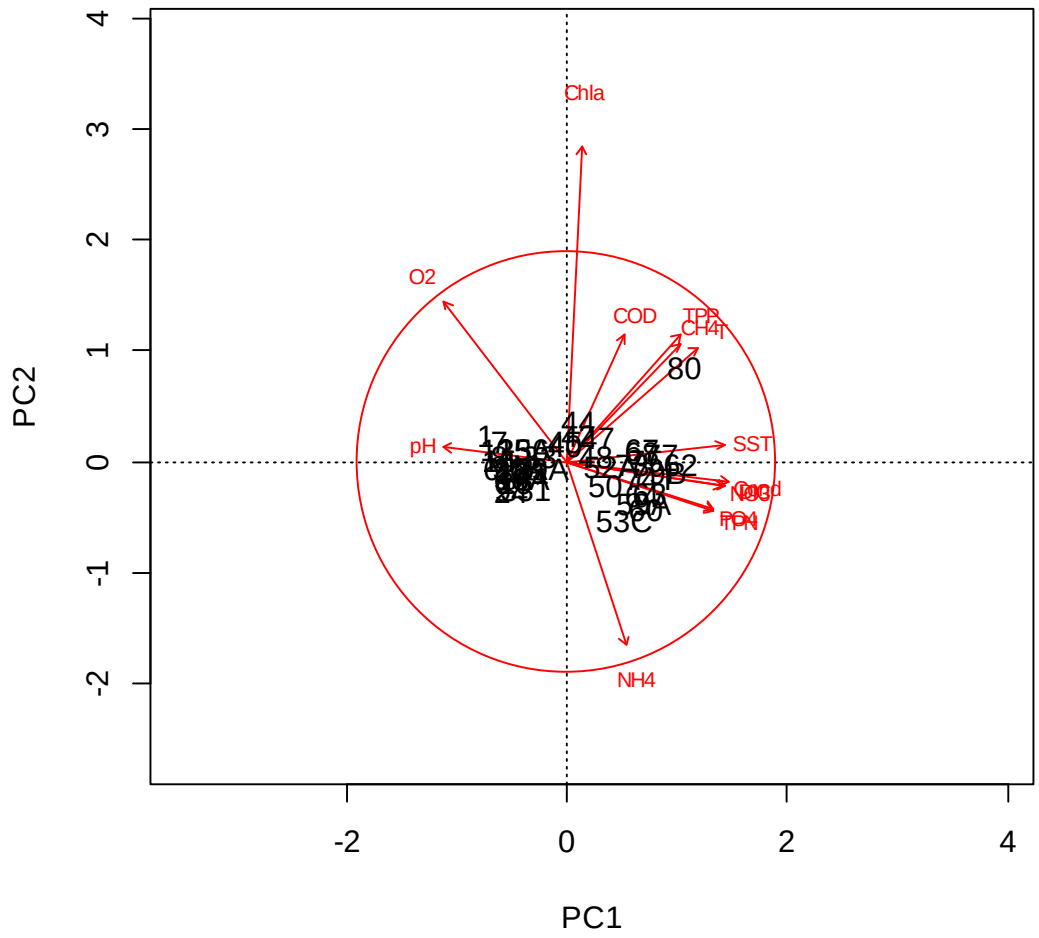


Fig. 6.4.- Risultato grafico dell' analisi PCA. Posizione delle 48 stazioni fluviali del fiume Oglio lungo le 2 componenti PC1 e PC2 originatesi dall'analisi dei valori medi primaverili dei parametri idrochimici misurati durante i tre anni di progetto. Le frecce rosse indicano l'importanza di ogni parametro nel determinare la posizione delle stazioni nel piano cartesiano. Il cerchio determina la significatività del parametro.

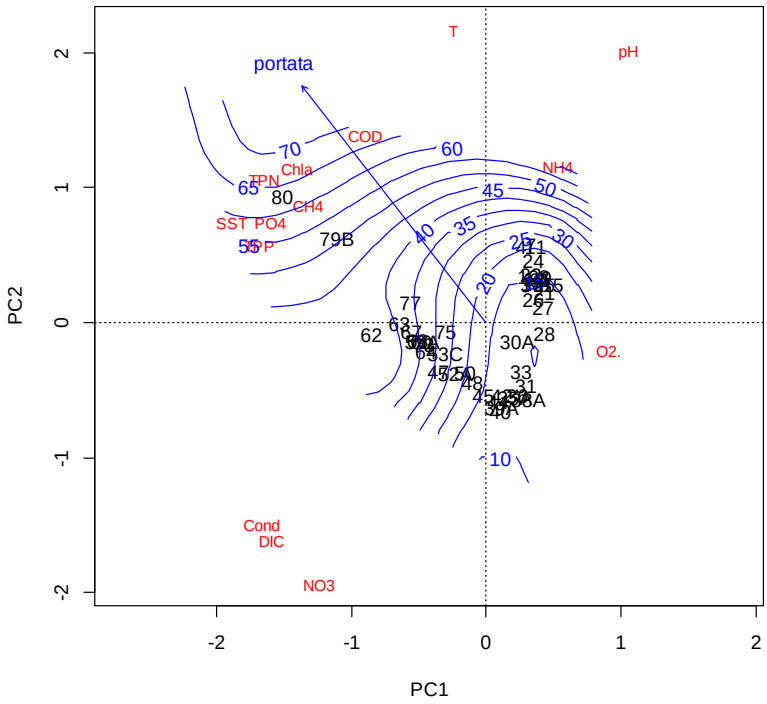


Fig. 6.5.– PCA della stagione estiva. I numeri in nero indicano le stazioni lungo le componenti PC1 e PC2, i coefficienti per la PC1 e la PC2 di ogni variabile sono indicati dalle coordinate in cui si trovano le variabili in rosso, la variabile portata è indicata dal vettore blu così come le isolinee delle misure di portata.

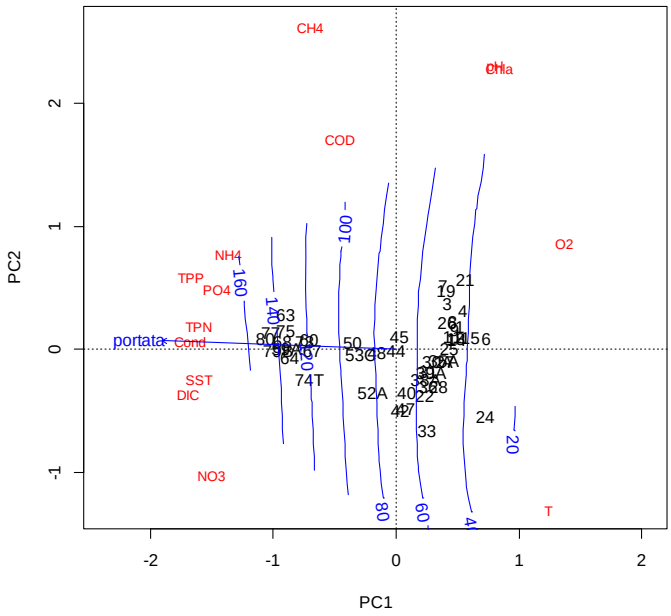


Fig. 6.6. – PCA della stagione autunnale. I numeri in nero indicano le stazioni lungo le componenti PC1 e PC2, i coefficienti per la PC1 e la PC2 di ogni variabile sono indicati dalle coordinate in cui si trovano le variabili in rosso, la variabile portata è indicata dal vettore blu così come le isolinee delle misure di portata.

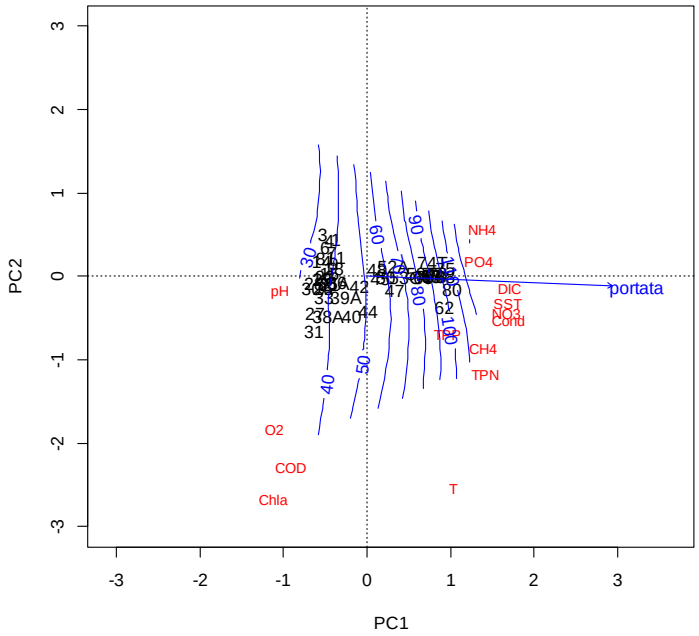


Fig. 6.7. - PCA della stagione invernale. I numeri in nero indicano le stazioni lungo le componenti PC1 e PC2, i coefficienti per la PC1 e la PC2 di ogni variabile sono indicati dalle coordinate in cui si trovano le variabili in rosso, la variabile portata è indicata dal vettore blu così come le isolinee delle misure di portata.

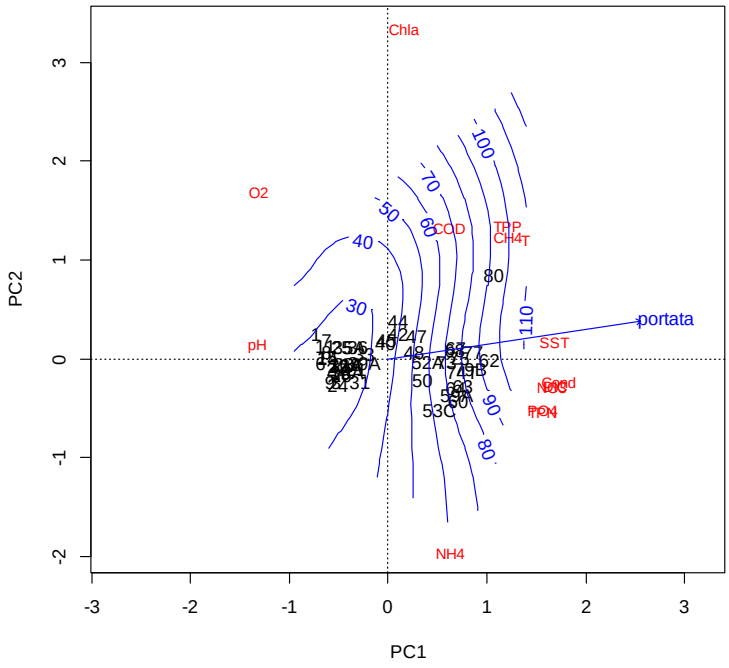


Fig. 6.8. – PCA della stagione primaverile. I numeri in nero indicano le stazioni lungo le componenti PC1 e PC2, i coefficienti per la PC1 e la PC2 di ogni variabile sono indicati dalle coordinate in cui si trovano le variabili in rosso, la variabile portata è indicata dal vettore blu così come le isolinee delle misure di portata.

In conclusione, l'unico periodo in cui il fiume Oglio sublacuale presenta un funzionamento differente dal continuum fluviale è l'estate. Due sono essenzialmente i fattori che rendono la stagione estiva anomala e critica dal punto di vista dei deflussi in alveo: lo sfruttamento antropico delle acque del fiume Oglio concentrato nei primi 30 km di fiume e l'alimentazione del fiume dalle acque sotterranee. Oltre alla combinazione di questi due fattori è da ricordare che il bacino è sfruttato per il 70% del suo territorio dall'attività agro-zootecnica e che non solo le acque superficiali ma anche quelle di falda sono inquinate dallo ione nitrato.

Nella stagione estiva il fiume Oglio sublacuale può quindi essere suddiviso in tre tratti fluviali: dal km ~112 al km ~141 (stazioni 1-30A), dal km ~141 al km ~175 (stazioni 31-44) ed infine dal km ~175 al km ~266 (stazioni 45-80).

Il primo tratto è caratterizzato da acque di origine lacustre e, nonostante i numerosi ingressi di scarichi di acque reflue urbane trattate, nel complesso il sistema è in grado di degradare gli input di sostanza organica e presenta bassi valori di nutrienti e clorofilla a fitoplanctonica.

La quantità di acqua che alimenta il secondo tratto deriva di conseguenza dalla portata di rilascio di DMV dal primo tratto e dagli apporti di acque di risorgiva; per questo motivo è la zona più critica nel caso si presentassero condizioni diffuse di siccità, perché tali eventi prolungati comporterebbero una riduzione dell' approvvigionamento delle acque sotterranee e quindi anche l'alimentazione del tratto fluviale stesso. L'aumento repentino delle concentrazioni di azoto nitrico, conducibilità, DIC e i più bassi valori di temperatura sostengono l'ipotesi di una alimentazione dalle acque sub-superficiali.

L'ultimo tratto di fiume è di fatto potamale, raccoglie le acque di scolo che derivano dal bacino e quindi vanno ad aumentare la frazione nitrica, la conducibilità e il trasporto di particellato nel corso del fiume.

6.2.- AZIONE BIOLOGICA

Lo studio delle comunità macrozoobentonica e macrofitica è stato condotto al fine di confermare la suddivisione in tratti risultante dalla caratterizzazione chimico-fisica delle acque e dell'idormorfologia fluviale. La struttura di comunità dei macroinvertebrati e delle macrofite, infatti, è in grado di evidenziare pattern spaziali e temporali difficilmente identificabili attraverso il singolo studio delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque. L'utilizzo dei macroinvertebrati e macrofite come bioindicatori, inoltre, consente di mettere in evidenza eventuali cambiamenti della qualità del corpo idrico nel breve-medio periodo qualora presenti.

6.2.1.- MACROINVERTEBRATI

Analogamente a quanto effettuato per il primo anno di sperimentazione i pattern spaziali della comunità macrozoobentonica del fiume Oglio sublacuale sono stati analizzati utilizzando tecniche di statistica multivariata. In particolare è stata utilizzata la tecnica del non Metric Multidimensional Scaling (nMDS) sulla matrice di presenza assenza dei taxa rinvenuti in tutti i campioni analizzati nei tre anni di sperimentazione. Dal momento in cui i campioni sono stati raccolti con tecniche differenti (retino surber e substrati artificiali) è stato deciso di usare la sola matrice di presenza assenza dei taxa. Da letteratura è noto infatti che le diverse tecniche determinano variazioni delle abbondanze degli organismi ma non influiscono eccessivamente sul dato di presenza/assenza di un determinato taxon. L'indice di similarità utilizzato è stato pertanto quello di Jaccard, consigliato nel caso in cui i dati siano binari ovvero di presenza/assenza. Sulla falsariga di quanto effettuato per il primo anno di sperimentazione i

singoli campioni/stazioni sono stati classificati a priori in tratti bacinizzati (stazioni FN01A, STB06, FN07A, FN11A, FN15A e FN21A), sottesi (stazioni STA03, STC08, STE18, FN24A e STF26) e potamali (stazioni FS47A, FS53C, FS59A, FS63A, FS68A, FS77A e FS80A). Rispetto alla prima suddivisione è stato aggiunto anche un tratto risorgive (stazioni FS31A, FS36A e FS44A), dal momento in cui questo segmento fluviale presenta caratteristiche peculiari tali da giustificare la creazione di una nuova tipologia di tratto. Al fine di evidenziare eventuali relazioni tra l'ordinamento ottenuto attraverso l'nMDS e le metriche utilizzate per la definizione degli indici di qualità STAR_ICMi e IBE è stata utilizzata una funzione in grado di valutarne il grado di associazione attraverso il coefficiente di determinazione (R^2). Il coefficiente di determinazione può assumere valori da 0, nessuna relazione, a 1, relazione perfetta. Il grado di associazione tra le metriche e l'ordinamento è rappresentato graficamente da vettori la cui lunghezza è proporzionale alla robustezza di tale associazione. Per ulteriori specifiche sulle tecniche utilizzate si rimanda alla relazione relativa al secondo anno di sperimentazione. Le analisi statistiche sono state svolte utilizzando il pacchetto "vegan" (Oksanen, 2011) del software freeware R (R-Development-Core-Team, 2010).

I risultati dell'intero triennio ricalcano quelli ottenuti utilizzando i dati relativi al primo anno di sperimentazione. L'nMDS è stata effettuata costringendo l'ordinamento su 3 assi. Il valore di stress ottenuto, misura dell'affidabilità dell'ordinamento, è risultato pari a 0.16 con valori inferiori a 0.20 ritenuti accettabili. In figura 6.17 è possibile osservare l'ordinamento relativo ai primi 2 assi (NMDS1 e NMDS2). Risulta chiaramente osservabile una separazione tra i siti bacinizzati e gli altri siti lungo il primo asse dell'ordinamento analogamente a quanto osservato nelle elaborazioni relative al primo anno di sperimentazione. In tabella 6.2 sono riportati i risultati del coefficiente di determinazione per tutte le metriche selezionate.

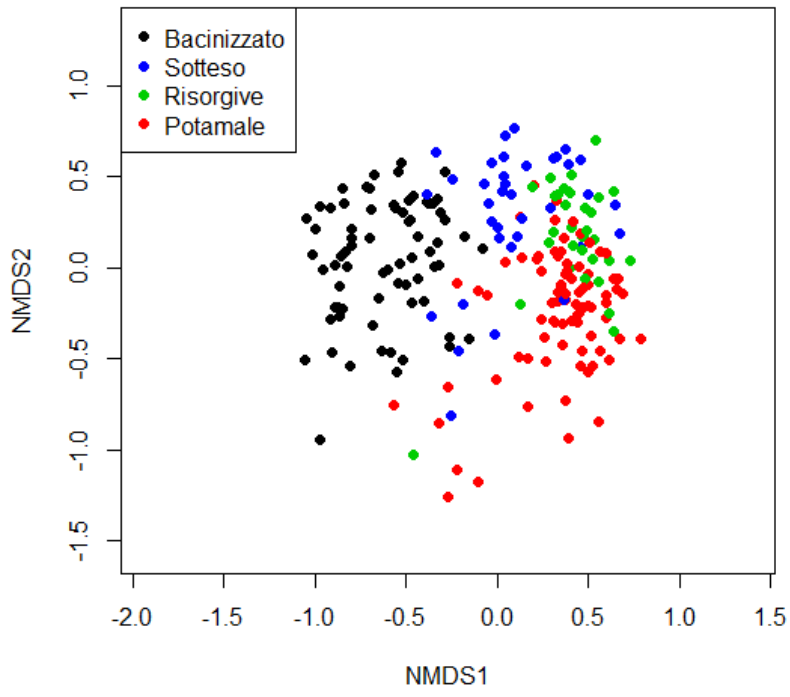


Fig. 6.17.- Output grafico dell'analisi multivariata nMDS in cui è possibile osservare la netta separazione tra i tratti bacinizzato, potamale e sotteso. Le stazioni appartenenti al tratto influenzato dalle acque di falda non sembrano separarsi dalle stazioni appartenenti al tratto sotteso.

Tab. 6.2.- Valori del coefficiente di determinazione utilizzati per stimare il grado di associazione tra le metriche utilizzate nel calcolo degli indici STAR_ICMi e IBE (Indice biotico esteso).

	r^2
ASPT	0.4514
Numero di famiglie	0.1734
EPT	0.4431
1-GOLD	0.3951
Indice di Shannon	0.0981
Selected EPTD	0.4381
STAR/ISA	0.507
Unità sistematiche	0.246
IBE	0.3789

In figura 6.18 è possibile osservare come il vettore relativo alla metrica 1 – GOLD (R^2= 0.40) vada nella direzione opposta a quella del cluster delle stazioni bacinizzate. Tale risultato è atteso e rispecchia la struttura tipica delle comunità presenti nei tratti bacinizzati, caratterizzata da molluschi gasteropodi e, in misura minore, da oligocheti.

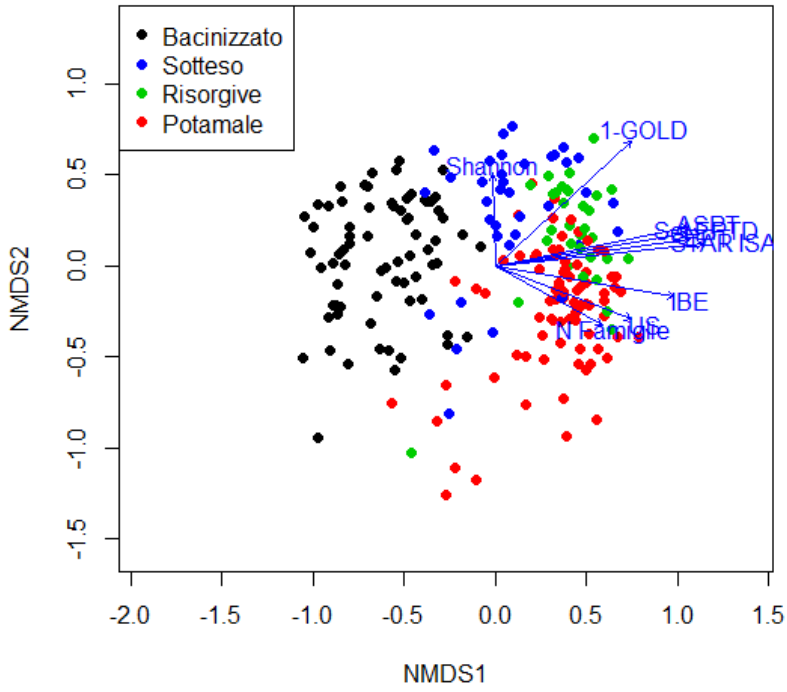


Fig. 6.18.- Output dell'analisi multivariata nMDS al quale sono stati sovrapposti i vettori relativi alle metriche necessari per il calcolo degli indici STAR_ICMi e IBE.

Nel caso del fiume Oglio sublacuale le metriche ASPT (R^2 = 0.45), selected EPTD (R^2= 0.44), EPT (R^2= 0.44) e l'indice STAR/ISA (R^2= 0.51) sembrano rispecchiare in modo prioritario le caratteristiche di bacinizzazione del sistema, con valori minori nei tratti bacinizzati. Alcune di queste relazioni possono essere facilmente spiegate a causa del valore bionindicatore legato alla presenza o meno delle forme larvali di insetti ed in particolare di efemerotteri. Gli efemerotteri hanno un peso elevato nel calcolo dell'indice MTS e di conseguenza sull'indice ISA, inoltre alcuni di essi (ad esempio Heptageniidae, Potamanthidae, etc.) hanno elevati valori di BMWP mentre i gasteropodi, caratteristici dei siti bacinizzati,

hanno valori sensibilmente minori. In figura 6.19 è possibile osservare in modo qualitativo come, in media, i tratti bacinizzati siano quelli che presentano un numero minore di famiglie EPT.

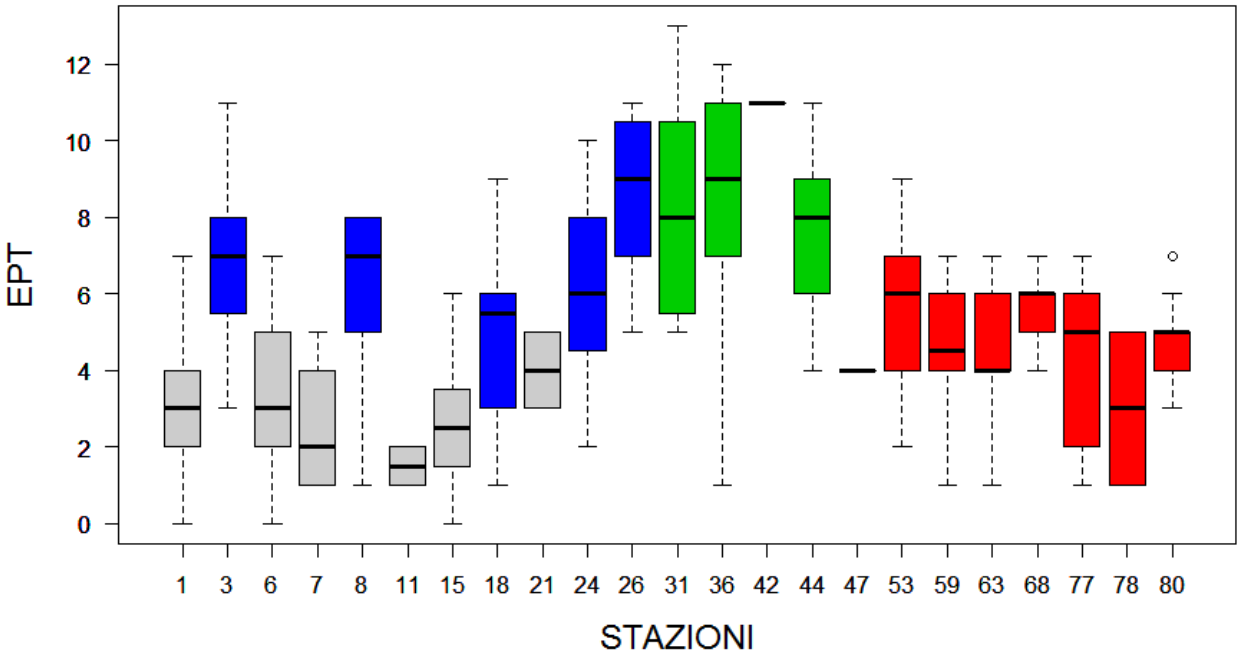


Fig. 6.19.- Boxplot che rappresenta la variabilità dei valori della metrica EPT (somma delle famiglie di efemerotteri, plecotteri, tricotteri) nelle diverse stazioni di campionamento. In grigio sono indicate le stazioni bacinizzate, in blu quelle sottese, in verde quelle influenzate dall'acqua di falda e in rosso quelle potamali.

I tratti sottesi si separano dagli altri con un cluster nettamente identificabile. Nella relazione del secondo anno i tratti sottesi risultavano negativamente correlati con la portata e con la profondità. Il tratto delle risorgive non presenta un cluster isolato, ma piuttosto si ritrova intersecato al cluster sotteso come risultato nelle elaborazioni dei dati del primo anno e, in misura minore, a quello potamale. Le stazioni appartenenti al tratto potamale tendono a raggrupparsi in unico cluster, analogamente a quanto riscontrato nelle elaborazioni del primo anno di sperimentazione.

6.2.2.- MACROFITE

6.2.2.1.- Analisi della complessità strutturale delle comunità di produttori primari del fiume

L'analisi della complessità strutturale delle cenosi a macrofite è stata condotta considerando i soli dati raccolti nel corso del primo anno di sperimentazione (estate 2009); di fatto solo per la prima campagna di indagine si disponeva di uno spettro di informazioni sufficientemente robusto e rappresentativo per valutare in modo esaustivo l'effetto dei fattori idrologici e chimico-fisici sulla struttura delle comunità a macrofite lungo il settore sub-lacuale del fiume Oglio utilizzando metodiche standard di indagine. I risultati conseguiti sono da considerarsi consistenti, nonostante considerino unicamente i dati relativi al primo anno di sperimentazione, grazie alla robustezza delle metodiche impiegate. In breve, si è proceduto: 1) a una preliminare tipizzazione delle stazioni monitorate in base alle caratteristiche

ambientali del sito identificando tre tipologie di sezione fluviale (tratti bacinizzati, a monte di dighe o briglie; tratti sottesi, subito a valle dei bacinizzati; tratti potamali, a corrente libera dopo il tratto interessato dalle bacinizzazioni); e 2) tale suddivisione è stata validata (tramite Cluster Analysis) e utilizzata per guidare l'analisi sulle comunità (nMDS) considerando i soli dati di presenza/assenza, in modo da evitare qualsiasi influenza del tipo di campionamento sull'abbondanza degli organismi (i dati di presenza/assenza, infatti, non influiscono oltremodo sulla determinazione della struttura di comunità). L'analisi del dataset è stata condotta applicando la Cluster Analysis, un metodo di analisi multivariato attraverso cui è possibile ordinare le unità statistiche (in questo caso le sezioni analizzate) in modo da minimizzarne la "lontananza logica" interna e di massimizzare quella tra i gruppi, e l'nMDS (nonmetric multidimensional scaling) una tecnica di ordinamento finalizzata all'identificazione di eventuali relazioni tra le comunità di macrofite e le variabili ambientali analizzate. La misura di distanza utilizzata in entrambi i casi 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 e variabili chimico-fisiche sono stati adattati all'output dell'nMDS, in modo da identificare quali fattori ambientali influenzino maggiormente la struttura delle comunità. Accoppiata alla Cluster Analysis e all'nMDS è stata eseguita l'analisi IndVal (Indicator Value) con l'obiettivo di evidenziare le specie indicatrici per ogni sezione individuata a priori (Dufrene & Legendre, 1997). Tale metodica permette di associare a ciascun gruppo sistematico un valore indicatore (IV) espressione dell'affinità di ogni singolo taxon per ciascuno dei gruppi d'appartenenza scelti a priori (nel nostro caso le tre tipologie di sezione fluviale).

Tutte le analisi statistiche sono state eseguite attraverso il software R (R-Development core-team, 2010) e i pacchetti vegan (Oksanen et al., 2011) e indicspecies (De Caceres and Legendre, 2009). Si rimanda al paragrafo concernente l'analisi dei pattern distributivi delle comunità a macroinvertebrati per i necessari approfondimenti sulle metodologie impiegate.

6.2.2.2.- Risultati della Cluster Analysis

L'analisi multivariata del dataset relativo al primo anno di indagine tramite Cluster Analysis ha permesso di identificare chiaramente tre diversi gruppi corrispondenti ad altrettante tipologie di comunità. In altre parole, lungo il gradiente monte-valle del fiume Oglio sublacuale è stato possibile riconoscere tre diverse comunità (fig.6.20). Due di esse sono caratterizzate da una chiara predominanza di forme macroalgali, il cluster A da *Cladophora glomerata*, cui si associano in modo costante alcune specie vascolari tipiche delle acque fluenti tra cui le più rappresentate sono *Ranunculus trichophyllus* subsp. *trichophyllus* e *Nasturtium officinale* subsp. officinale, e il cluster C da *Spirogyra* spp. e *Thorea hispida*, una rara alga rossa. Solamente il terzo cluster identificato (cluster B) mostrava un buon corredo di specie vascolari capaci di competere efficacemente con la componente macroalgale e di raggiungere, in conseguenza, elevati valori di copertura-abbondanza che localmente superano quelli delle macroalghe filamentose. Tra le vascolari più diffuse in questi settori ricordiamo: *Vallisneria spiralis*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Iris pseudoacorus, Elodea nuttallii*, *Potamogeton perfoliatus* e *Potamogeton crispus*. In termini generali è stato possibile, in forma del tutto preliminare, ricondurre le tre tipologie di comunità di produttori primari alle tre tipologie di sezione fluviale identificate a priori. Le forme macroalgali si sono rivelate tipiche delle tipologie "tratti sottesi" (cluster A) e "tratti potamali" (cluster C), mentre i "tratti bacinizzati" erano caratterizzati da comunità dominate in termini di diversità e copertura-abbondanza da piante vascolari (cluster B). La corrispondenza rilevate attraverso la Cluster Analysis è stata successivamente validata mediante le tecniche di ordinamento e l'IndVal technique. Sempre in generale, quindi, l'alterazione della continuità longitudinale del fiume (in termini di presenza di una cesura completa del flusso, come per esempio la presenza di uno sbarramento a scopo idroelettrico e/o irriguo) sembra essere il parametro chiave per descrivere la struttura e i processi evolutivi delle formazioni di produttori primari in un fiume di media dimensione fortemente artificializ-

zato. Nei settori bacinizzati, infatti, il passaggio da un sistema lotico a "uno prossimo lentico" incentiva, tra l'altro, l'accumulo di particellato fine a livello sedimentario e riduce di molto l'effetto selettivo della corrente favorendo la stabilizzazione di una flora acquatica vascolare tipica di sistemi lacustri più che di un sistema fluviale (ad esempio, *V. spiralis* e le varie forme di potamidi ed elodeidi).

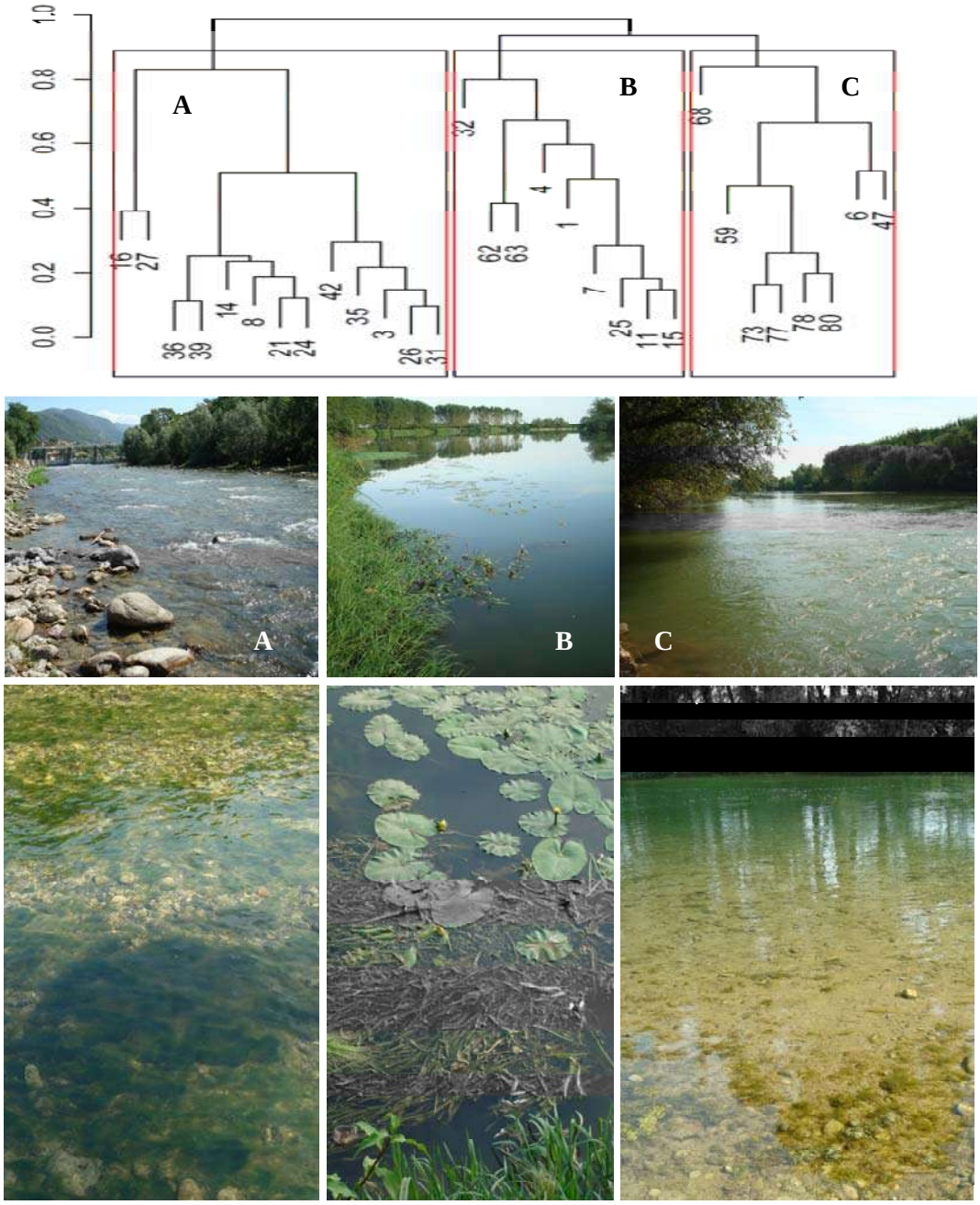


Fig. 6.20.- Risultati della Cluster Analysis. Il dendrogramma in alto illustra i tre gruppi identificati; le immagini riportate sotto descrivono le tipologie di sezione fluviale contraddistinte dai tre tipi di comunità: A = tratti sottesi; B = tratti bacinizzati; C = tratti potamali.

6.2.2.3.- Importanza delle caratteristiche idromorfologiche e dei fattori chimico-fisici nella strutturazione delle comunità macrofisiche

L'ordinamento a tre dimensioni effettuato con l'nMDS conferma la suddivisione in 3 gruppi identificata tramite la Cluster Analysis. Tali gruppi corrispondono alle tre tipologie di sezione fluviale individuate a priori: stazioni nei tratti bacinizzati, stazioni a valle delle bacinizzazioni e stazioni potamali (fig. 6.21). Il valore di stress è risultato pari a 0.16. Le correlazioni positive e statisticamente significative tra i valori dell'nMDS e le variabili ambientali monitorate sono riportate in tabella 6.3. I risultati ottenuti confermano il ruolo centrale svolto dell'idrologia nello strutturare le comunità di produttori primari. Nello specifico, la presenza di prese e/o sbarramenti determina, in termini macroscopici, il rallentamento della velocità della corrente, fattore chiave nel modulare il bilancio del trasporto solido (gli SST) e il metabolismo del fosforo (TP e PO_4^{3-}), che sono le variabili ambientali che manifestano i valori massimi di significatività statistica nell'analisi insieme al metano (CH_4), altro elemento la cui produzione dai sedimenti sembra essere incentivata dal rallentamento delle corrente e dalla parziale stratificazione, almeno nelle fasi estive, della massa d'acqua del fiume. Per tutti questi fattori il fitting lineare è risultato, in termini statistici, altamente significativo ($p<0.001$) (tab. 6.3).

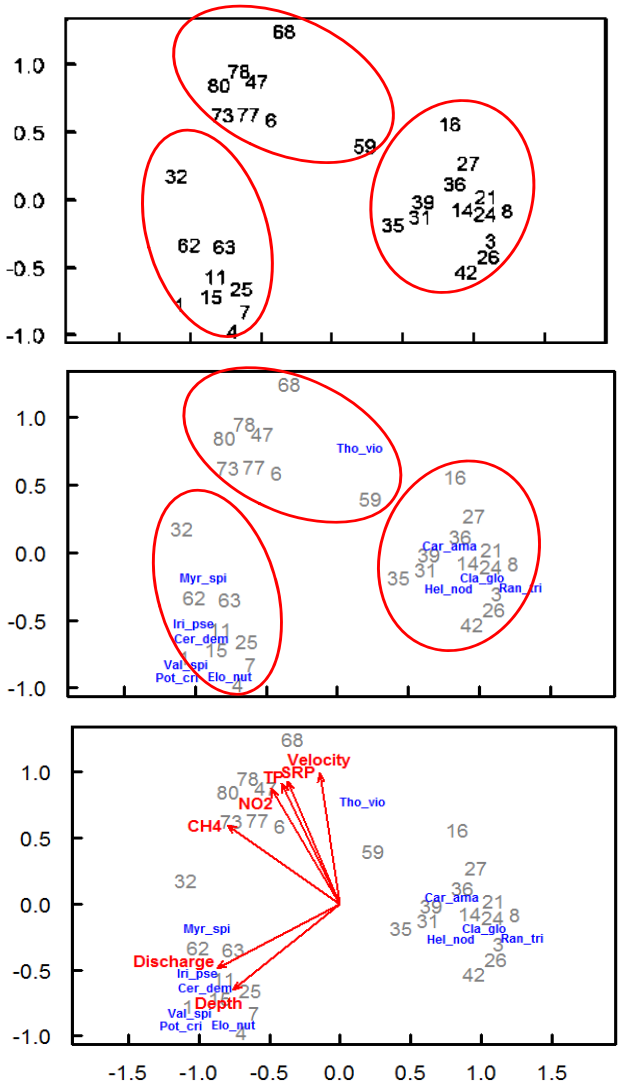


Fig. 6.21.- Risultati dell'nMDS. Il grafico in alto illustra i tre gruppi identificati in termini di stazioni/sezioni monitorate; il grafico intermedio riporta le specie chiave che spiegano la suddivisione delle stazioni/sezioni monitorate osservata; il grafico in basso riporta i vettori delle variabili monitorate adattate allo spazio a due dimensioni dell'nMDS (rispetto al primo e al secondo asse dell'ordinamento).

Tab. 6.3.- Risultati dell'nMDS; per ciascuna variabile ambientale analizzata si riporta il valore di r^2 (il valore della correlazione) e di Pr (la significatività di tale correlazione); in grassetto si riportano le variabili altamente significative, con p<0.001.

Variabile	r^2	Pr(>r)
T	0.221	0.047
Cond.	0.286	0.014
SST	**0.400**	**0.001**
DIC	0.287	0.017
TP	**0.424**	**0.001**
CH_4	**0.418**	**0.001**
Chl-*a*	0.182	0.035
NO_2^-	0.411	0.003
PO_4^{3-}	**0.469**	**0.001**
Portata	0.467	0.002
Velocità	**0.467**	**0.001**
Profondità	0.383	0.003

6.2.2.4 Specie indicatrici

Del tutto in linea con i risultati ottenuti dalla Cluster Analysis e dall'nMDS, l'analisi IndVal ha permesso di identificare numerosi taxa indicatori per le 3 diverse tipologie di sezione fluviale indagate (tab. 6.4). Per le stazioni "sottese" sono state riconosciute 4 specie indicatrici (p<0.01), la più rappresentativa è *C. glomerata* (93); all'interno dei settori bacinizzati ben 8 sono le specie indicatrici, tutti taxa vascolari tra cui *V. spiralis* (99), *Ceratophyllum demersum* (92) e *Myriophyllum spicatum* (92) presentano un IV superiore a 90 (riportato in parentesi). Infine, il cluster dei tratti potamali presenta una sola specie indicatrice con un valore statisticamente significativo. Si tratta di *T. hispida* che mostra un IV di 50 e una significatività di p<0.01. Tale risultato evidenzia lo scarso livello strutturale delle comunità dei produttori primari nei settori propriamente potamali ove non sussistono condizioni ideali per l'affermazione e lo sviluppo di cenosi a macrofite.

Tab. 6.4.- Specie indicatrici ottenute attraverso l'analisi IndVal nelle tre sezioni identificate a priori; si riportano solo le specie con p-value > 25; in grassetto si riportano le specie con significato statistico, con p-value<0.01.

Specie	IV	*p-value*
Cluster A		
Cladophora glomerata	**93**	**
Ranunculustrichophyllus* subsp. *trichophyllus	**89**	**
Nasturtium officinale* subsp. *officinale	**49**	**
Berula erecta	**46**	**
Fontinalis antipyretica	44	
Callitriche cfr. *obtusangula*	38	
Persicaria hydropiper	37	

Specie	IV	*p-value*
Rorippa amphibia	26	
Oscillatoria spp.	25	
Paspalum distichum	25	
Cluster B		
Vallisneria spiralis	**99**	**
Ceratophyllum demersum	**92**	**
Myriophyllum spicatum	**92**	**
Iris pseudoacorus	**74**	**
Elodea nuttallii	**72**	**
Potamogeton perfoliatus	**66**	**
Potamogeton crispus	**64**	**
Lagarosiphon major	57	
Potamogeton pectinatus	**55**	**
Lythrum salicaria	53	
Phalaris arundinacea subsb. *arundinacea*	53	
Myosotis scorpioides gruppo	50	
Mentha aquatica subsp. *aquatica*	46	
Oscillatoria spp.	44	
Lemna minor	39	
Spirogyra spp.	35	
Najas marina subsp. *marina*	34	
Phragmites australis subsp. *australis*	33	
Chara vulgaris	30	
Cluster C		
Spirogyra spp.	53	
Thorea hispida	**50**	**
Ludwigia hexapetala	46	
Spirodela polyrhiza	39	
Butomus umbellatus	36	
Lemna minuta	34	
Lindernia dubia	31	
Oscillatoria spp.	28	
Zannichellia palustris subsp. *polycarpa*	27	
Amblystegium fluviatile	25	

I dati raccolti sottolineano il ruolo centrale dell'idrodinamismo (e quindi della presenza di sbarramenti e/o di opere interferenti a scopo irriguo) nel modulare e guidare i processi di colonizzazione, sviluppo e affermazione delle comunità a macrofite fluviali. Nello specifico, il progressivo rallentamento della corrente e l'affermarsi di condizioni lentiche nelle sezioni poste a monte degli sbarramenti si traducono in profonde alterazioni a carico della comunità dei produttori primari macroscopici. La bacinizzazione che ne consegue favorisce, infatti, l'insediamento di specie vascolari tipiche dei bacini lentici che in abbondanza sono rilasciate sotto forma di propaguli e/o forme di resistenza (turioni) dal Lago d'Iseo

per effetto di drift (in altre parole, dal trasporto passivo ad opera della corrente). Non a caso si sono identificati letti sommersi a dominanza di vallisneridi e potamidi (ad es. *V. spiralis*, *Potamogeton* spp.) nei settori bacinizzati (ove i frammenti trovano condizioni ideali per il radicamento e il loro successivo accrescimento) mentre nei settori ritrali (sottesi alle opere interferenti) e in quelli potamali le comunità a macrofite sono dominate da macroalghe filamentose. A conferma dei risultati ottenuti attraverso la Cluster Analysis e l'nMDS, l'IndVal technique ha fornito elenchi di specie indicatrici con significatività statistica differenziando le tre comunità vegetali identificate sulla base della Cluster Analysis in base alle specie dominanti: *C. glomerata* per le sottese, *T. hispida* per le potamali, *V. spiralis*, *C. demersum* e *M. spicatum* per le bacinizzate.

Concludendo, i dati raccolti evidenziano come i fattori idro-morfologici giochino un ruolo centrale nei processi ecologici che guidano la complessità e la struttura delle comunità dei produttori primari; in generale, la velocità, concordemente con altri parametri chimico-fisici ad essa fortemente correlati (SSD, TP, PO43- e CH4), rappresenta la principale driving force dell'ordinamento e, quindi, va considerata la variabile chiave per spiegare la struttura delle comunità a macrofite del fiume. Minore, sebbene sia significativo in termini statistici, sembra essere il peso della portata e quindi la modulazione del DMV.

6.3.- CONCLUSIONI

L'analisi delle comunità di macroinvertebrati e macrofite confermano la suddivisione in tratti suggerita dall'analisi morfologica associata alle discontinuità e dall'analisi delle componenti principali. La struttura e la diversità delle comunità di macroinvertebrati e di macrofite è influenzata dalla morfologia e dai parametri idrologici (velocità e profondità) che distinguono i tratti fluviali "bacinizzati", "sottesi" e "potamali". Più in dettaglio 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. In particolare le stazioni ricadenti nella zona delle risorgive o interazione con acque di falda presentano comunità simili alle stazione dei tratti sottesi e a volte a quelle potamali. Ciò risulta essenzialmente dovuto al gradiente delle caratteristiche idrologiche, le stazioni con bassa velocità di corrente e bassi valori di profondità sono più simili ai tratti sottesi, mentre quelle con elevata velocità di corrente e alti valori di profondità tendono ad essere più simili alle stazioni potamali. La stagione estiva risulta determinare le differenze tra tratti fluviali, tale affermazione deriva da due fattori ovvi: 1- la comunità macrofitica ha fase vegetativa in tale periodo e 2- l'interazione più significativa tra acque di fiume e acque di falda si presenta in estate, la falda viene ricaricata a partire dalla stagione estiva, alzando il livello piezometrico e interferendo quindi con le acque supeficiali.

La suddivisione in sottotratti "bacinizzati" e "sottesi" proposta dall'analisi morfologica e delle discontinuità è confermata dall'analisi delle comunità biologiche, così come la suddivisione nei tre macrotratti fluviali "macrotratto 1-derivazioni irrigue e industriali", "macrotratto 2 – influenza risorgive o acque di falda", "macrotratto 3 – tratto potamale" proposta dall'analisi dei dati idrochimici con la PCA.

BIBLIOGRAFIA

APAT-CNR-IRSA "Metodi analiti.ci per le acque" (Manuali e Linee Guida 29/2003)

APAT, 2007. Metodi Biologici per le Acque: Parte 1.

ARPA Lombardia, 2009. Idro-Ecoregioni e Atlante delle tipologie dei corsi d'acqua superficiale della Regione Lombardia. Nuova rete di monitoraggio. Relazione tecnica.

ARPA Sicilia, (2008). Attività di caratterizzazione dei corpi idrici, elaborazione del Piano regionale di monitoraggio dei corpi idrici con l'implementazione e l'integrazione delle relative reti di monitoraggio. P.O.R. Sicilia 2000/2006, Misura 1.01.

ARPAV, 2008. PROGETTO BIO60 Attività propedeutiche all'implementazione della Direttiva 2000/60/CE.

Autorità di Bacino del Fiume Po, 2003. Studio di fattibilità opere idrauliche e analisi morfologica.

Autorità di Bacino del Fiume Po. 2010. Piano di gestione del distretto idrografico del fiume Po:Caratterizzazione dei tipi di corpi idrici fluviali individuati nel bacino del fiume Po. Allegato 1.1 all'elaborato 1. Disponibile all'indirizzo:

www.adbpo.it/download/PdGPo_24febbraio2010/PDGPo_ELABORATO_01_CaratteristicheDistretto/PDGPo_ELABORATO_1_ALLEGATI/Allegato_1_1/PdG_Po_Allegato_1_1_10_03_11.pdf

Borcard D. et al., 2011. Numerical ecology with R. Springer New York Dordrecht London Heidelberg, 306 pp.

Buffagni A. et al., 2006. Elementi di base per la definizione di una tipologia per i fiumi italiani in applicazione della Direttiva 2000/60/EC.

Buffagni A.,. 1997. Mayfly community composition and the biological quality of streams. In Landolt, P. & M. Sartori (eds), Ephemeroptera & Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics. MTL, Fribourg: 235–246.

CNR-IRSA, 2007. Notiziario dei Metodi analitici – Istituto di Ricerca Sulle Acque – CNR Macroinvertebrati acquatici e Direttiva 2000/60/CE. N. 1, Marzo 2007.

Corenblit et al., 2011. Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: A review of foundation concepts and current understandings. Earth-Science Reviews 106: 307–331.

Davy-Bowker J. et al., , Clarke R., Corbin T., Vincent H., Pretty J., Hawczak A., Blackburn J., Murphy J. & Iwan J. 2008. River Invertebrate Classification Tool. Final report. Edinburgh, UK, Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research (SNIFFER), 161pp. (SNIFFER Project WFD72C, CEH Project Number: C02404)

De Cáceres M., Legendre P., 2009. Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. Ecology 90: 3566–3574.

Dell'Uomo A., 2004. L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. APAT. 101 pp.

Dodds W.K. et al.,, Jones J.R., Welch E.B., 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen and phosphorus. Wat. Res. 32(5):1455-1462.

Dufrêne M., Legendre P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. Ecological Monographs 67: 345–366.

Elosegi et al., 2010. Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems. Hydrobiologia 657:199–215.

Gerbaz, D. et al., , Minciardi, M. R. & Rossi, G. L. (2005.) Applicazione integrata di metodologie di monitoraggio in ambiente fluviale. Terza Relazione sullo Stato dell'Ambiente in Valle d'Aosta. – ARPA Valle d'Aosta: 120-125.

IRSA-CNR, 2008. Notiziario dei metodi analitici - numero speciale: Condizioni di riferimento per fiumi e laghi - Classificazione sulla base dei macroinvertebrati acquatici. Disponibile all'indirizzo: http://www.irsa.cnr.it/Docs/Notiz/notiz2008_%28NS%29.pdf

John D.M. et al.,, Johnson L.R., Moore J.A., 1989. Observations on Thorea ramosissima Bory (Batrachospermales, Thoreaceae) a Freshwater Red Alga rarely recorded in the British Islands. Br. phycol. J., 24: 99-102.

Krammer K. 2000. The genus Pinnularia. In Diatoms of Europe. Volume 1. A.R.G., Lange-Bertalot H (ed.). Gantner: Rugell. 584 pp.

Krammer K. 2002. Cymbella. In Diatoms of Europe. Volume 3. A.R.G., Lange-Bertalot H (ed.). Gantner: Rugell. 584 pp.

Krammer K., 1997a. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 1. Allgemeines und Encyonema Part. Bibliotheca Diatomologica 36: 1−382.

Krammer K., 1997b. Die cymbelloiden Diatomeen. Teil 2. Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis. Bibliotheca Diatomologica 37: 1−469.

Krammer K., 2003. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella. In Diatoms of Europe. Volume 4. A.R.G., Lange-Bertalot H (ed.). Gantner: Rugell. 530 pp.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1986. Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer Ed., Band 2/1: G. Fisher verlag., Stuttgart.: 876 pp.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1988. Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer Ed., Band 2/2: G. Fisher verlag., Stuttgart.: 596 pp.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1991. Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer Ed., Band 2/3: G. Fisher verlag., Stuttgart.: 600 pp.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 1991. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnathaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (lineolate) und Gomphonema. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. H. Ettl, G. Gartner, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer Ed., Band 2/4: G. Fisher verlag., Stuttgart.: 437 pp.

Krammer K., Lange-Bertalot H., 2000. Bacillariophyceae 5. Teil: English and French translation of the keys. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. B. Budel, G Gartner, L. Krienitz, G.M. Lokhorst. Ed., Band 2/5: G. Fisher erlag., Stuttgart.: 300 pp.

Lange-Bertalot H., 2001. Navicula sensu stricto, 10 Genera separated from Navicula sensu lato, Frustulia. In Diatoms of Europe. Volume 2. A.R.G., Lange-Bertalot H (ed.). Gantner: Rugell. 526pp.

Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 1996. Indicators of Oligotrophy. Lange-Bertalot H. (ed.) Iconographia Diatomologica 2. Koeltz, Koenigstein. 390 pp.

Lavoie I. et al., , Hamilton P.B., Campeau S., Grenier M., Dillon P.J., 2008. Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada (Spiral-bound). Presses de l'Université du Québec. 241 pp.

Metzeltin D. et al., , Lange-Bertalot H., García-Rodríguez F., 2005. Diatoms of Uruguay. Iconographia Diatomologica, 15:1-730.

Metzeltin, D.K., Nand Nakov, T., (22007). Diatoms of Lakes Prespa and Ohrid. Series: Iconografia Diatomologica 16 Volume 16: Biogeography - Ecology – Taxonomy. Zlatko Levkov, Svetislav. Gantner Verlag. 613 pages, 220 plates with 2593 figures.

Mezzotero A. et al., , Minciardi, M. R., Spada, C. D., Lucadamo, L., Gallo, L. & De Filippis, A. (2009). Prima caratterizzazione e valutazione delle comunita a macroite acquatiche nei corsi d'acqua della Provincia di Cosenza. Studi Trent.Sci.Nat. 86: 1-6

Minciardi M. R. et al., MINCIARDI M.R., POMA S., ROSSI G.L., 2005. Qualità delle acque superficiali. In: Rossi G.L. & Minciardi M.R. (a cura di), Un Piano per la Palude di San Genuario. Proposte per la gestione di un sito Natura 2000. Regione Piemonte: 41 – 45.

Minciardi M. R. et al., , Azzollini, R. & Spada, D. (2010a). Le macroite acquatiche come comunità bioindicatrice negli ambienti fluviali del bacino padano: ricerche pregresse, prospettive di utilizzo e necessità conoscitive. In: Atti del XVIII Congresso Nazionale S.It.E "Ecologia, Emergenza, Pianiicazione", Parma 1-3 settembre 2008 – Biologia Ambientale.

Minciardi M. R. et al., , Spada, C. D., Rossi, G. L., Angius, R. & Orru', G. (2010b). Prima individuazione delle condizioni di riferi-mento relative alla comunità delle macroite acquatiche per la classiicazione dei corsi d'acqua ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque. Rapporto Tecnico ENEA.

Morgana J. et al., 2005. La certiication del Parque Nacional del Circeo (Italia central): evaluacion de la calidad de las aguas supericiales. Limnetica 24(1-2): 21-32.

Oksanen J., 2011. The Vegan package. Version 1.17–11. Community Ecology Package. Documentation for R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (http://www.r-project.org).

Passy S.I., 2007a. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. Aquat. Bot. 86: 171–178.

Pinay et al., 2000. Geomorphic control of denitrification in large river floodplain soils. Biogeochemistry 50: 163–182.

Pinay et al., 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Changing Water Regimes on Nitrogen Cycling in Fluvial Systems. Environmental Management 30 (4): 481–491.

R-Development-Core-Team,. 2010. R: A Language and Environment for Statistical Computing, Vienna.

Reichardt E., 1999. Zur Revision der Gattung Gomphonema. Die Arten um G. affine/insigne, G. angustum/micropus, G. accuminatum sowie gomphonemoide Diatomeen aus dem Oberoligozan in Bohmen. In Iconographia Diatomologica 8, A.R.G., Lange-Bertalot H (ed.). Gantner: Rugell.

Rimet F., Bouchez A., 2011. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: Lotic mesocosm approaches. Ecological Indicators 11: 489–499.

Rinaldi et al., 2011. IDRAIM – sistema di valutazione IDRomorfologica, AnalisI e Monitoraggio dei corsi d'acqua. Manuale tecnico – operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua. ISPRA.

Rosgen D.L., 1994. A classification of natural rivers. Catena 22: 169-199.

Rossi O. et al., 2009. Metodi statistici multivariati per l'analisi di dati ecologici ed ambientali. Uni.Nova, 412 pp.

Tabacchi et al., 2009. Implications of biological and physical diversity for resilience and resistance patterns within Highly Dynamic River Systems. Aquat. Sci. 71: 279 – 289.

Usseglio-Polatera P. et al., 2000. Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates : relationships and definition of groups with similar traits. Freshwater Biology 43: 175-205.

Werum M., Lange-Bertalot H., 2004. Diatoms in Springs from Central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. In Lange-Bertalot H. (ed.). Koeltz, Koenigstein. Iconographia Diatomologica 13: 1–417.

Sito ORS: geoportale lombardia