CONSORZIO DELL' OGLIO

- BRESCIA --

Progetto di sperimentazione dei rilasci per il deflusso minimo vitale nel fiume Oglio sub lacuale

Relazione Conclusiva del Triennio

2009 - 2012

“Progetto di sperimentazione dei rilasci
per il deflusso minimo vitale nel fiume Oglio sub lacuale”

Progetto approvato con prescrizioni con DDG 7684 del 27.07.2009 Regione lombardia

Il Rapporto è a cura di Massimo Buizza – Direttore del Consorzio dell' Oglio

Hanno contribuito alla stesura del testo della Prima Parte:

Antonio Dalmiglio
Marco Mancini

Hanno contribuito alla stesura del testo della Seconda Parte:

Erica Racchetti
Marco Bartoli
Alex Laini
Rossano Bolpagni

con il coordinamento scientifico del prof. Pierluigi Viaroli

Il Deflusso Minimo Vitale (DMV) è "*la quantità minima di acqua che deve essere assicurata per la sopravvivenza delle biocenosi acquatiche, la salvaguardia del corpo idrico e, in generale, per gli usi plurimi a cui il fiume è destinato*".
legge 183/89 (art.3 comma 1, lettera i)[1]

Il Deflusso Minimo Vitale è "*la portata istantanea da determinare in ogni tratto omogeneo del corso d'acqua, che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corpo idrico, chimico-fisiche delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locall*". Decreto del Ministero dell'Ambiente del 28 luglio 2004[2]

Autorità di Bacino del Fiume Po:
Deliberazione n. 7/2002 :
Allegato B : Criteri di regolazione delle portate in alveo

Definizione

Il deflusso minimo vitale (DMV) è il deflusso che, in un corso d'acqua, deve essere presente a valle delle captazioni idriche al fine di mantenere vitali le condizioni di funzionalità e di qualità degli ecosistemi interessati.

Il DMV si compone di una componente idrologica, stimata in base alle peculiarità del regime idrologico e, da eventuali fattori correttivi che tengono conto delle caratteristiche morfologiche dell'alveo del corso d'acqua, della naturalità e dei pregi naturalistici, della destinazione funzionale e degli obiettivi di qualità definiti dalle Regioni nell'ambito dei Piani di tutela delle acque.

IMPORTANTE:

La struttura della "Relazione Conclusiva del Triennio" prevede:

- **una PRIMA PARTE in cui sono illustrate le valutazioni emerse da tre anni di lavoro;**
- **una SECONDA PARTE in cui sono riportate i risultati delle attività di analisi alla fonte delle valutazioni della Prima Parte.**

Nel caso in cui la lettura della Prima Parte avesse bisogno di approfondimenti, la lettura della Seconda Parte consente di ottenere le informazioni necessarie.

[1] legge 183/89 "*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*"
[2] Decreto del Ministero dell'Ambiente del 28/07/2004 "*Linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino,comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale, di cui all'articolo 22, comma 4, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152*"

SOMMARIO

PRIMA PARTE

1. CARATTERIZZAZIONE IDRAULICO-IDROLOGICA DEL TRIENNIO DI SPERIMENTAZIONE 7

1.1 ANDAMENTO IDROLOGICO DEL TRIENNIO DI SPERIMENTAZIONE 7
1.2 VALUTAZIONE DEI RILASCI DI DMV A VALLE DELLE DERIVAZIONI 8
1.3 CORRELAZIONI IDRAULICHE TRA IL FIUME E LE ZONE LATERALI DI PREGIO 21

2. VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDRAULICHE DEL F.OGLIO SUBLACUALE 21

2.1 SEGMENTI FLUVIALI 21
2.2 TRATTI FLUVIALI E TRATTI SOTTESI 24
2.3 INFLUENZA DELLA MODULAZIONE DEGLI SCENARI SULLA MORFOLOGIA DELLE SEZIONI NEI TRATTI SOTTESI 26

3. VALUTAZIONE DELLA VOCAZIONE ITTICA DEL F. OGLIO SUBLACUALE 27

4. VALUTAZIONE DEGLI INDICI BIOLOGICI E CHIMICO – FISICI ACCORPATI PER MACROTRATTI 30

4.1 PRIMO SEGMENTO 30
4.2 SECONDO SEGMENTO 34
4.3 TERZO SEGMENTO 35

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 37

5.1 VALUTAZIONI SUL COMPORTAMENTO IDRAULICO DEL FIUME OGLIO SUB LACUALE 38
5.2 VALUTAZIONE DELL'INDAGINE CHIMICO-FISICA 39
5.3 VALUTAZIONI DELLE RELAZIONI TRA MACROINVERTEBRATI, MACROFITE E REGIME DELLE PORTATE DEL FIUME 40
5.4 ANALISI DELLE COMUNITÀ ITTICHE 41

6. QUADRO SINOTTICO DELLE CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 43

7. CONSIDERAZIONI FINALI SUL LAVORO SVOLTO. 45

8. IDEE E PROPOSTE PER UN SECONDO TRIENNIO 45

SECONDA PARTE

9. DEFINIZIONE E ANALISI DEI TRATTI FLUVIALI OMOGENEI 49

9.1 AZIONE CHIMICO - FISICA 49
9.2 AZIONE BIOLOGICA 55
9.3 CONCLUSIONI 61

10. ANALISI DEGLI SCENARI DI SPERIMENTAZIONE NEI TRATTI DI FIUME SOTTESI ALLE CENTRALI ELETTRICHE - (SCENARI DEL GRUPPO B) 68

11. CONSIDERAZIONI FINALI 87

12. ALLEGATO 1 89

PRIMA PARTE

1. CARATTERIZZAZIONE IDRAULICO-IDROLOGICA DEL TRIENNIO DI SPERIMENTAZIONE

La Sperimentazione triennale dei rilasci di DMV ha messo in luce aspetti interessanti sulle caratteristiche idrologiche e idrauliche del fiume sublacuale, e che devono essere considerate se si vuole interpretare correttamente il comportamento e la risposta del fiume alle diverse situazioni idrologiche che si manifestano stagionalmente.

Il f.Oglio sublacuale si sviluppa su una lunghezza totale di circa 154 km, essendo così il più lungo degli emissari da laghi regolati, riceve affluenti primari ai fini del DMV, come il f. Chiese, il f.Mella e lo Strone, altri caratterizzati da un consistente trasporto solido, come il Cherio e il Guerna, è interessato da 26 derivazioni irrigue (grandi e piccole derivazioni), da 6 centrali idroelettriche ad acqua fluente, e da una moltitudine di attingimenti superficiali. Attraversa un territorio classificato come parco (Parco Oglio Nord e Parco Oglio Sud), che gestiscono 8 siti di interesse comunitario o ZPS.

1.1 ANDAMENTO IDROLOGICO DEL TRIENNIO DI SPERIMENTAZIONE

Lo studio delle serie storiche delle precipitazioni e delle temperature, eseguito dal Consorzio (Progetto AgriOglio, QdR n. 131, regione Lombardia, 2011) ha dimostrato che a partire dal 1991 si è registrata una variazione netta nel trend di questi parametri, per cui risultava corretto prendere a campione i dati a partire da quell' anno. La valutazione sull' andamento idrologico del triennio deve essere fatta con questo riferimento.

I dati relativi alle portate di deflusso dal lago sono i seguenti:

			1991-2011	2009	2010	2011
deflusso dal lago	1991-2011	media	54,4	57,4	70,4	57,4
		dvst	12,5	26,4	34,4	16,6
		max	82,0	155,7	244,3	142,6
		min	34,0	12,5	21,7	28,5
deflusso dal lago	luglio - agosto	media	63,8	70,3	72,8	64,9
		dvst	12,6	12,5	24,0	12,1
		max	91,3	131,1	179,9	79,7
		min	39,9	43,7	42,0	41,1
totale derivazioni	luglio - agosto	media	58,1	63,8	58,8	61,1
		dvst	9,4	5,4	13,5	12,4
		max	76,9	73,5	74,0	75,4
		min	36,1	44,2	37,6	35,6

Durante il triennio, per quanto riguarda i deflussi medi annui sono stati registrati valori di portata in media o superiori rispetto al periodo storico. Anche analizzando i mesi di luglio e agosto, quelli in cui si verificano le condizioni più critiche per il fiume, la medesima grandezza risulta superiore alla media.

In particolare, l'anno 2010 dimostra una grande variabilità di portate nei mesi estivi, rispetto alla serie storica e agli altri due anni, e questo ha avuto effetto sull' applicazione degli scenari, come si può verificare nelle tabelle 1.3 – 1.6 della Seconda Parte.

I valori di precipitazione registrati nel periodo delle campagne estive sono riportati nella tabella seguente, e giustificano l' anomalia per il 2010, quando nel comprensorio irriguo del f.Oglio si sono registrate piogge cumulate ben superiori rispetto agli altri anni, e questo ha ostacolato l' applicazione degli scenari di rilascio.

Precipitazioni cumulate nel periodo luglio - agosto			
anni	2009	2010	2011
stazioni	mm	mm	mm
Sarnico	172	280	174
Calcio	65	221	142

La conseguenza rilevante è che hanno comportato l' attivazione di scarichi agricoli e civili non controllabili, per cui nelle stazioni sul fiume si sono registrate condizioni di portata superiori a quelle previste dalla modulazione mensile, mentre per i tratti sottesi dalle derivazioni idroelettriche le portate sono state regolate in quantità prossime alle previsioni degli scenari.

1.2 VALUTAZIONE DEI RILASCI DI DMV A VALLE DELLE DERIVAZIONI

L' intero fiume sublacuale è interessato da 25 sezioni di derivazione, dotate di traverse fluviali o soglie tracimabili (alcune servono più derivazioni). Sono queste i punti potenzialmente critici per il rilascio del DMV, e su queste si sono concentrate le Azioni di controllo dello stato del fiume, misurando le portate rilasciate nei diversi scenari e sviluppando il monitoraggio chimico-fisico e biologico. Sono state elaborate tabelle per ogni sezione, in cui sono riportati i valori degli indici della sezione di valle monitorata più vicina e le portate misurate. I valori sono ottenuti mediando i dati dei tre anni per stagione, le portate sono le medie giornaliere dei giorni di campionamento delle stagioni e per i tre anni.

Per la valutazione degli indici si veda la Relazione del 3° Anno, così come quelle degli anni precedenti, in cui sono illustrati in dettaglio il procedimento di calcolo e la congruità rispetto all' ambiente fluviale in esame.

Si vuol far notare che, in accordo con il procedimento statistico di elaborazione degli indici chimico-fisici e biologici, per ogni derivazione sono indicate nelle tabelle le medie delle portate di rilascio a valle registrate nei tre anni, quindi considerando anche i valori dell' anno 2010 che, come detto, ha presentato particolarità idrologiche. Per capire il comportamento del fiume nelle singole sezioni, questa analisi generale deve essere accompagnata da una valutazione di dettaglio annuale e stagionale, con la quale conoscere i valori degli indici in relazione con le portate del singolo periodo. Data la complessità del monitoraggio svolto, per questo approfondimento è necessario rimandare alle Relazioni annuali.

Quindi ne deriva che il dato sintetico consente di capire la variabilità stagionale dell' indice, in presenza di anni idrologicamente diversi , e di valutare qual' è il range di variabilità tra le stagioni dell' anno.

Le tabelle relative a tutte le derivazioni irrigue e idroelettriche presenti sul fiume sono riportate di seguito; per completezza, si ricorda che non sono considerati gli attingimenti superficiali.

roggia Fusia - Centrale Castelmontecchio **STA03** km 112,3

A valle del Torrente Guerna (Sarnico loc. Molini.)Il tratto è in buono stato naturale, nonostante la presenza puntiforme di piccole zone abitative e della traversa fluviale poco a monte. Il substrato di fondo è diversificato con prevalenza di massi e ciottoli. È da segnalare la presenza in sponda sinistra di vegetazione arborea, mentre le essenze erbacee e arbustive sono presenti in modo omogeneo su entrambe le sponde.

1	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,80	7,3	0,617	7,7	0,73	0,85	0,50	0,51	2,9	6,2
autunno	0,88	7,8	0,653			0,82			5,7	8,5
inverno	0,75	6,0	0,313						4,8	5,3
primavera	0,67	8,4	0,683				0,42	0,40	5,2	13,5

Centrale Capriolo STC08 km 114,0

A valle dello sbarramento Tagliuno (Porto Calepio valle ponte). Il tratto è in un buono stato naturale, nonostante la presenza in sponda sinistra di attività agricole intense. Il substrato di fondo è diversificato e stabile, con prevalenza di massi e ciottoli. La vegetazione spondale copre un'estesa e continua fascia su entrambe le sponde.

2	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,85	6,5	0,403	9,3	0,88	0,85	0,34	0,46	2,9	4,2
autunno	0,84	4,1	0,243			0,82			6,1	7,2
inverno	0,83	3,9	0,389						2,9	4,5
primavera	0,71	6,6	0,431				0,46	0,32	4,4	6,9

Centrale Tagliuno	STC08							km 115,7		
Il tratto è in un buono stato naturale, nonostante la presenza in sponda sinistra di attività agricole intense. Il substrato di fondo è diversificato e stabile, con prevalenza di massi e ciottoli. La vegetazione spondale copre un'estesa e continua fascia su entrambe le sponde.										
3	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,85	6,3	0,448	9,0	0,86	0,65	0,50	0,46	2,9	23,0
autunno	0,88	7,5	0,689			0,82			6,1	20,4
inverno	0,70	7,0	0,589						2,9	12,1
primavera	0,68	7,0	0,561				0,29	0,32	4,4	19,7

Si deve notare che la notevole differenza tra la portata di rilascio teorica e la portata misurata stagionalmente è dovuta al fatto che la portata di concessione della centrale è sensibilmente minore rispetto a quella transitante, specialmente d' estate, per cui non è possibile regolarla rispetto agli scenari.

sollevamento FRANCIACORTA	FN11A							km 117,8		
Il tratto indagato è fortemente modificato dall'attività antropica a causa di opere fisse in alveo - sia longitudinali che trasversali - che ne alterano il grado di naturalità e causano anche un significativo rallentamento della velocità di corrente portando alla bacinizzazione del corso fluviale.										
4	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,75	6,5	0,414	8,2	0,78	0,56	0,36	0,45	2,9	52,2
autunno	0,72	4,9	0,225			0,82			7,6	47,0
inverno	0,71	5,6	0,293						7,6	40,1
primavera	0,72	7,2	0,486				0,46	0,46	5,2	46,7

Roggia Vetra - Centrale Palazzolo - Soll. MEDIA PIANURA BERGAMASCA | STD14 | km 119,8

Il tratto è fortemente modificato e artificializzato.
Le sponde sono verticali e cementate, l'andamento del corso d'acqua è per lo più rettificato. La presenza di vegetazione spondale è limitata alle aree non cementate; si tratta prevalentemente di vegetazione a carattere arbustivo ed erbaceo.

5	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,80	6,5	0,414	7,6	0,72	0,85	0,38	0,45	3,0	7,1
autunno	0,78	4,9	0,225			0,82			7,6	9,8
inverno	0,68	5,6	0,293						7,6	6,2
primavera	0,75	7,2	0,486				0,39	0,44	5,0	12,1

roggia CASTRINA | FN15A | km 122,9

Il tratto è fortemente modificato e artificializzato.
Le sponde sono verticali e cementate, l'andamento del corso d'acqua è per lo più rettificato. La presenza di vegetazione spondale è limitata alle aree non cementate; si tratta prevalentemente di vegetazione a carattere arbustivo ed erbaceo.

8	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,85	6,5	0,554	8,5	0,81	0,85	0,38	0,45	3,0	41,8
autunno	0,81	4,9	0,533			0,82			7,5	44,6
inverno	0,64	5,6	0,567						7,5	39,2
primavera	0,67	7,2	0,243				0,42	0,44	5,0	44,0

roggia TRENZANA - TRAVAGLIATA - Centrale Palosco - roggia Sale | **STE18** | km 124,1

Il tratto è fortemente trasformato da attività antropiche passate che, a seguito di intensa escavazione, ne hanno modificato sponde e fondo. Un'ulteriore influenza negativa degli effetti del depuratore di Palazzolo s/O i cui effetti sono stati rilevati anche al momento del censimento.

9	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,85	6,9	0,554	8,5	0,81	0,85	0,36	0,48	3,0	6,0
autunno	0,81	7,3	0,533			0,82			7,5	13,5
inverno	0,64	7,4	0,567						7,5	10,6
primavera	0,67	5,1	0,243				0,42	0,52	5,0	15,9

roggia BAIONA | FN19A | km 125,8

Il tratto si presenta in un discreto stato di naturalità, nonostante la presenza di aree a utilizzo agronomico intensivo. Le sponde sono ben vegetate, con presenza di piante arboree, localizzate specialmente in sponda destra. Il substrato di fondo è vario, strutturato e stabile.

12	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,79	9,8	0,755	8,5	0,81	0,85	0,55	0,43	3,0	31,3
autunno	0,70	9,8	0,842			0,82			7,5	42,8
inverno	0,65	8,0	0,677						7,5	38,0
primavera	0,72	7,2	0,564				0,28	0,41	5,0	40,3

roggia RUDIANA - VESCOVADA FN22A km 128,7

A valle a valle della confluenza del Cherio e dell'abitato di Pontoglio. Il tratto indagato, con rive cementate, è inserito in un contesto agricolo intensivo e risulta fortemente impattato dall'attività antropica che ne ha ridotto le fasce riparie vegetate a monofilari discontinui, anche a seguito di tagli recenti. L'ombreggiamento è pressoché nullo e le rive somo scarsamente diversificate e scoscese, quindi non predisposte ad accogliere ittiofauna.

13	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,79	9,8	0,755	7,9	0,75	0,85	0,55	0,69	3,2	29,8
autunno	0,70	9,8	0,842			0,82			8,1	43,0
inverno	0,65	8,0	0,677						8,1	38,0
primavera	0,72	7,2	0,564				0,28	0,47	5,4	40,6

roggia CASTELLANA FN24A km 129,7

A valle del depuratore di Pontoglio. Il tratto indagato è inserito in un contesto agricolo intensivo e risulta fortemente impattato dall'attività antropica che ne ha ridotto le fasce riparie vegetate a monofilari discontinui, anche a seguito di tagli recenti. L'ombreggiamento è pressoché nullo e le rive somo scarsamente diversificate e scoscese, quindi non predisposte ad accogliere ittiofauna.

14	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,79	9,8	0,755	7,9	0,75	0,86	0,55	0,69	3,2	27,0
autunno	0,70	9,8	0,842			0,90			8,2	43,3
inverno	0,65	8,0	0,677						8,2	37,4
primavera	0,72	7,2	0,564				0,28	0,47	5,4	39,8

roggia DONNA FN25A km 131,4

A monte dello sbarramento della centrale. Il tratto indagato è inserito in un contesto agricolo intensivo e risulta fortemente impattato dall'attività antropica che ne ha quasi azzerato le fasce di vegetazione riparie. Ne deriva quindi un ombreggiamento pressoché nullo.
Le rive sono scarsamente diversificate e verticali, quindi non predisposte ad accogliere ittiofauna, oltre che soggette a significativi fenomeni di erosione, dovuti anche all'elevata velocità di scorrimento.

15	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,79	9,8	0,755	7,9	0,75	0,86	0,55	0,69	3,2	25,6
autunno	0,70	9,8	0,842			0,90			8,4	43,8
inverno	0,65	8,0	0,677						8,4	37,3
primavera	0,72	7,2	0,564				0,28	0,58	5,6	39,3

Centrale Urago d'Oglio **STF26** km 131,5

A valle della Roggia Donna. Il tratto indagato è inserito in un contesto agricolo intensivo e risulta fortemente impattato dall'attività antropica che ne ha quasi azzerato le fasce di vegetazione riparie. Ne deriva quindi un ombreggiamento pressoché nullo.
Le rive sono scarsamente diversificate e verticali, quindi non predisposte ad accogliere ittiofauna, oltre che soggette a significativi fenomeni di erosione, dovuti anche all'elevata velocità di scorrimento.

16	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,67	9,8	0,755	9,3	0,89	0,85	0,55	0,69	3,2	12,6
autunno	0,84	9,8	0,842			0,87			6,6	24,5
inverno	0,69	8,0	0,677						3,2	14,5
primavera	0,75	7,2	0,564				0,28	0,58	4,8	19,8

Si deve notare che notevole differenza tra la portata di scenario e la portata misura stagionalmente è dovuta al fatto che la portata di concessione è sensibilmente minore rispetto a quella transitante, specialmente durante il periodo irriguo, quando nel fiume deve transitare la portata necessaria a d alimentare le prese irrigue di valle.

NAVIGLIO CIVICO DI CREMONA	FN27A	km 135,1

A valle del Naviglio Civico e della Roggia Antegnata (monte Naviglio Civico Cremona). Il tratto si presenta con un discreto stato di naturalità, nonostante la presenza di aree a utilizzo agronomico intensivo e piccole aree urbanizzate.
Le sponde sono scarsamente vegetate, con prevalenza di arbusti e formazioni erbacee. In sponda sinistra è presente una grossa prismata di difesa spondale.
Il substrato di fondo è vario, strutturato e stabile.

17	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,77	8,6	0,772	9,1	0,87	0,85	0,47	0,49	3,2	17,9
autunno	0,88	9,4	0,995			0,87			8,7	42,5
inverno	0,83	7,6	0,526						8,7	35,2
primavera	0,79	7,0	0,476				0,44	0,50	5,8	34,6

roggia ANTEGNATA	FN27A	km 135,3

A valle del Naviglio Civico e della Roggia Antegnata (monte Naviglio Civico Cremona). Il tratto si presenta con un discreto stato di naturalità, nonostante la presenza di aree a utilizzo agronomico intensivo e piccole aree urbanizzate.
Le sponde sono scarsamente vegetate, con prevalenza di arbusti e formazioni erbacee. In sponda sinistra è presente una grossa prismata di difesa spondale.
Il substrato di fondo è vario, strutturato e stabile.

18	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,77	8,6	0,772	9,1	0,87	0,85	0,47	0,49	3,2	17,9
autunno	0,88	9,4	0,995			0,87			8,7	42,5
inverno	0,83	7,6	0,526						8,7	35,2
primavera	0,79	7,0	0,476				0,44	0,50	5,8	34,6

roggia MOLINA	FN28A	km 136,6

A monte del depuratore di Calcio (monte ponte SS 11). Le rive del tratto si presentano fortemente impattate, scoscese e quasi completamente prive di vegetazione funzionale. L'ombreggiamento è scarso, se non nullo, e l'idoneità ad ospitare specie ittiche si limita ad aree circoscritte all'interno dell'alveo principale

19	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,68	8,6	0,772	10,1	0,96	0,85	0,44	0,48	3,2	17,9
autunno	0,73	9,4	0,995			0,87			8,8	42,5
inverno	0,88	7,6	0,526						8,8	35,2
primavera	0,76	7,0	0,476				0,54	0,61	5,9	34,6

roggia CALCIANA	FN28A	km 137,1

A monte del depuratore di Calcio (monte ponte SS 11). Le rive del tratto si presentano fortemente impattate, scoscese e quasi completamente prive di vegetazione funzionale. L'ombreggiamento è scarso, se non nullo, e l'idoneità ad ospitare specie ittiche si limita ad aree circoscritte all'interno dell'alveo principale

20	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,68	8,6	0,772	10,1	0,96	0,85	0,39	0,48	3,2	17,9
autunno	0,73	9,4	0,995			0,87			8,9	42,5
inverno	0,88	7,6	0,526						8,9	35,2
primavera	0,76	7,0	0,476				0,54	0,61	5,9	34,6

NAVIGLIO GRANDE PALLAVICINO	FS31A	km 141,1

A valle del Naviglio Grande e a monte del depuratore Rudiano (valle presa Naviglio Grande Pallavicino). L'area circostante è prevalentemente dominata da colture di mais, da esercizi zootecnici e piccole aree urbane. Le sponde sono scarsamente vegetate, specie quella sinistra; risultano in prevalenza occupate da arbusti e formazioni erbacee. In sponda sinistra è presente una grossa prismata di difesa spondale e, appena a monte della stazione, è localizzata una grossa barriera di massi che taglia perpendicolarmente l'intero alveo, creando una situazione di non continuità. Il substrato di fondo è vario, strutturato e stabile.

21	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,68	8,6	0,772	10,1	0,96	0,85	0,50	0,55	3,3	8,5
autunno	0,73	9,4	0,995			0,87			9,2	40,5
inverno	0,88	7,6	0,526						9,2	32,4
primavera	0,76	7,0	0,476				0,46	0,50	6,1	32,2

Questa è la sezione di chiusura del Primo Segmento fluviale.

Roggia MOLINARA	FS33A	km 143,5

A valle dello scarico del depuratore di Rudiano. Il tratto assume un carattere pluricursale grazie all'affioramento di barre e isolotti di ciottoli. Le sponde, ben vegetate, sono costituite da essenze arboree riparie autoctone ed esotiche e da saliceti arbustivi. La sponda destra è inoltre caratterizzata da una prismata di difesa spondale.
Il substrato di fondo è vario, strutturato e stabile.

22	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,63	7,6	0,712	9,0	0,85	0,85	0,58	0,58	3,3	7,8
autunno	0,42	7,3	0,730			0,87			9,3	39,5
inverno	0,75	9,0	1,027						9,3	32,1
primavera	0,72	9,0	0,688				0,57	0,51	6,2	30,9

Cavo di SUPPEDITAZIONE FS36A km 147,3

La stazione potrebbe essere influenzata dallo scarico dell'impianto di acquacoltura di Rudiano . Il tratto assume un carattere pluricursale grazie all'affioramento di barre e isolotti di ciottoli. Le sponde, ben vegetate, sono costituite da essenze arboree riparie autoctone ed esotiche e da saliceti arbustivi. La sponda destra è inoltre caratterizzata da una prismata di difesa spondale.
Il substrato di fondo è vario, strutturato e stabile.

23	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,76	8,5	0,726	9,4	0,9	0,85	0,48	0,54	3,3	7,6
autunno	0,42	8,2	0,981			0,87			9,3	39,4
inverno	0,69	9,5	1,137						9,3	31,4
primavera	0,70	8,0	1,000				0,57	0,51	6,2	30,5

Roggia CONTA di BARCO FS38A km 148,9

Presenza dello scarico dell'impianto di acquacoltura Torre Pallavicina. Il tratto assume un carattere pluricursale grazie all'affioramento di barre e isolotti di ciottoli. Le sponde, ben vegetate, sono costituite da essenze arboree riparie autoctone ed esotiche e da saliceti arbustivi. La sponda destra è inoltre caratterizzata da una prismata di difesa spondale.
Il substrato di fondo è vario, strutturato e stabile.

24	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,76	8,5	0,726	9,4	0,9	1,01	0,48	0,54	3,3	7,8
autunno	0,42	8,2	0,981			0,77			9,3	41,0
inverno	0,69	9,5	1,137						9,3	33,0
primavera	0,70	8,0	1,000				0,57	0,51	6,2	44,4

Questa è l' ultima sezione di rilascio del DMV del Secondo Segmento fluviale.

Consorzio irrigazione OSTIANESE Nuova	FS59A	km 206,0

A valle del fiume Strone e del fiume Mella.Il tratto è inserito in un contesto agricolo intensivo e in corrispondenza del centro urbano di Ostiano. La fascia di vegetazione arborea riparia risulta limitata a monofilari non sempre continuativi o piccole aree vegetate con estensioni inferiori ai 100 metri. In alveo sono quasi assenti i rifugi; la scarsa diversificazione delle sponde ostacola l'instaurarsi di una comunità ittica florida e differenziata.

25	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,42	6,8	0,644	10,3	0,98	0,66	0,29	0,30	4,9	37,0
autunno	0,42	6,5	0,733			0,77			13,7	107,7
inverno	0,46	6,7	0,703						13,7	79,3
primavera	0,37	6,5	0,508				0,35	0,35	9,2	75,1

Sollevamento MARIA di CALVATONE	FS70A	km 233,3

ZPS Foce Chiese - a valle del fiume Chiese 200 m (valle confluenza Chiese). Nel tratto, lo sviluppo delle colture stagionali e di arboreti da taglio posti quasi a ridosso delle sponde, preclude la presenza di una fascia perifluviale riparia. Infatti, in sponda destra, si rileva un suolo in prevalenza colonizzato da essenze erbacee, mentre la sponda sinistra è caratterizzata da arbusti infestanti esotici, accompagnati da qualche fanerofita autoctona.

26	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,48	5,8	0,601	8,5	0,81	0,62	0,30	0,25	5,7	45,6
autunno	0,42	6,2	0,677			0,85			15,7	129,3
inverno	0,58	6,1	0,572						15,7	100,3
primavera	0,45	5,6	0,510				0,34	0,32	10,4	89,5

Sollevamento S. MICHELE in BOSCO FS79B km 250,3

Brede d' Oglio - Belforte. Il territorio circostante il tratto campionato è dominato da pioppeti che, unitamente alla presenza di opere di difesa spondale danneggiate, ha velocizzato e accentuato il processo di erosione delle sponde, per lo più verticali e prive di vegetazione.

27	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,49	5,8	0,756	7,7	0,74	0,62	0,11	0,11	7,9	55,0
autunno	0,42	6,2	0,761			0,85			22,3	176,8
inverno	0,51	6,1	0,765						22,3	129,2
primavera	0,39	5,6	0,640				0,25	0,20	14,9	121,9

Sollevamento MALDINARO di Marcaria FS80 km 257,5

SIC ZPS Golene S. Alberto (Campitello - loc. Casale Tosa). Il territorio circostante il tratto campionato è dominato da pioppeti che, unitamente alla presenza di opere di difesa spondale danneggiate, ha velocizzato e accentuato il processo di erosione delle sponde, per lo più verticali e prive di vegetazione.

28	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,47	7,0	0,756	7,7	0,74	0,62	0,11	0,11	7,9	59,4
autunno	0,42	6,6	0,761			0,85			22,4	182,2
inverno	0,63	6,9	0,765						22,4	134,2
primavera	0,32	6,8	0,640				0,25	0,20	14,9	128,1

Sollevamento TORRE d' OGLIO (Cesole) FS80A km 264,1

Il territorio circostante il tratto è dominato da pioppeti che, unitamente alla presenza di opere di difesa spondale danneggiate, ha velocizzato e accentuato il processo di erosione delle sponde, per lo più verticali e prive di vegetazione.

29	LIMeco	IBE	STAR_ICMi	IBMR	RQE	ICMi	ISECI	ISECI mod.	portata DMV teorico a valle	portata rilasciata a valle derivazione
estate	0,47	7,0	0,756	7,7	0,74	0,62	0,11	0,11	8,0	61,5
autunno	0,35	6,6	0,761			0,85			22,5	184,5
inverno	0,63	6,9	0,765						22,5	137,6
primavera	0,32	6,8	0,640				0,25	0,20	15,0	131,5

1.3 CORRELAZIONI IDRAULICHE TRA IL FIUME E LE ZONE LATERALI DI PREGIO

A completamento della rete di monitoraggio idraulico del fiume, sono state attivate stazioni di monitoraggio idrometrico di sette ambiti vincolati presenti e compresi nell' area di interesse del Parco Oglio Nord. Questi ambiti vincolati presentano la formazione di lanche laterali rispetto all' alveo fluviale, per cui acquisiva rilevanza conoscere le modalità di connessione con l' alveo attivo e la sua variabilità con l' applicazione di scenari diversi di rilascio delle portate di DMV. Sono state eseguite letture periodiche dei livelli idrici degli ambiti, durante lo svolgimento delle campagne di monitoraggio, e contemporaneamente sono state rilevate le altezze idrometriche delle più vicine stazioni idrometriche sul fiume. Già nello Studio di Incidenza si era osservato, durante i sopralluoghi effettuati, una sostanziale disconnessione tra le lanche laterali e il fiume, e nel corso della Sperimentazione questo aspetto è stato confermato. L' analisi dei dati rilevati ha dimostrato che le variazioni di livello nelle lanche sono avvenute a causa degli eventi piovosi e dai conseguenti coli dai terreni circostanti, oppure alcune volte da scarichi temporanei provenienti dal reticolo minore.

Solo in occasione di aumenti di portata dovuti ad aumenti di deflusso dal lago o da apporti degli immissari naturali queste connessioni si sono attivate, ma sono terminate al diminuire delle portate su valori decisamente superiori a quelli definiti come rilascio di DMV.

Non esistendo serie storiche di dati rilevati non è possibile conoscere se le connessioni fossero attive negli anni passati, ma considerando che l' alveo del f. Oglio in questi tratti è di tipo alluvionale e quindi a fondo mobile, si può ragionevolmente affermare che le variazioni di livello (nel senso di abbassamento) del thalweg e lo spostamento dei canali attivi all' interno dell' alveo attivo, dovuto agli effetti di eventi di piena, hanno determinato la disconnessione tra il fiume e le lanche. Questo particolare problema risulta quindi non mitigabile operando rilasci classificabili di deflusso minimo vitale, bensì richiederebbe interventi di rimodellazione dell' alveo, accompagnati da interventi di stabilizzazione delle quote del thalweg.

2. VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE IDRAULICHE DEL F.OGLIO SUBLACUALE

La Sperimentazione triennale dei rilasci di DMV ha messo in luce aspetti interessanti sulle caratteristiche idrologiche e idrauliche del fiume sub lacuale, che devono essere considerate se si vuole interpretare correttamente il comportamento e la risposta del fiume alle diverse situazioni idrologiche che si manifestano stagionalmente.

Il fiume, che rappresenta il più lungo degli emissari da laghi regolati, riceve affluenti primari ai fini del DMV, come il fiume Chiese e il fiume Mella, caratterizzati a volte da un consistente trasporto solido, e meno importanti come il Cherio e il Guerna E' interessato da 26 derivazioni irrigue (grandi e piccole derivazioni), da 6 centrali idroelettriche ad acqua fluente e da una moltitudine di attingimenti superficiali.

2.1 SEGMENTI FLUVIALI

Mettendo in relazione lei tipologie fluviali con i risultati del monitoraggio idraulico, è emersa una indicazione molto utile ad indirizzare le analisi e le valutazioni che completano il triennio sperimentale.

Infatti il f. Oglio sublacuale deve essere considerato dal punto di vista idrologico come una successione di tre segmenti fluviali diversi, collegati alla sezione di chiusura con il segmento successivo. Questi segmenti sono così individuabili:

- **PRIMO SEGMENTO** (Oglio Regolato)

  Inizia al km 112,1 (traversa fluviale di Sarnico) e termina al km 141,1 (traversa fluviale del Naviglio Grande a Calcio).

  E' caratterizzato dalla presenza del Sistema Oglio, definito nel progetto di Sperimentazione come l' insieme delle derivazioni irrigue ed idroelettriche che utilizzano le acque regolate del lago d' Iseo.

  Sono presenti 6 traverse fluviali che intercettano l' intero alveo, e sono al servizio delle centrali idroelettriche, tutte ad acqua fluente con restituzione totale della portata turbinata nell'alveo del fiume stesso, a valle dell'opera di presa e a monte della derivazione successiva; alimentano anche 4 derivazioni irrigue. Le altre derivazioni irrigue sono dotate di soglia tracimabile, con binatore centrale (soglia abbassata per garantire il deflusso di portate minime), per garantire le portate derivabili.

  Dal km 112 al km 131 circa l' alveo alimenta in modo distribuito la falda sotterranea con portate variabili spazialmente fino a 4/5 mc/s, a valle diviene progressivamente drenante fino a portate di 4/8 mc/s alla sezione di chiusura.

  Questa conformazione è consolidata ormai da moltissimo tempo perché le derivazioni irrigue risalgono ai secoli passati, e le derivazioni idroelettriche al secolo scorso. Tutte le portate, defluenti dal lago e derivate) sono misurate in continuo e regolabili stagionalmente (in genere due cicli annui di riempimento dell' invaso).

  Ai fini del DMV le sezioni critiche per i rilasci coincidono con quelle in cui si trovano le traverse fluviali e con la soglia al km 141,1; infatti tutte le altre derivazioni irrigue nelle stagioni autunnali, invernali e primaverili derivano portate piccole rispetto a quelle estive, e quindi normalmente lasciano defluire a valle portate superiori a quelle calcolate come DMV.

- **SECONDO SEGMENTO** (Oglio mediano):

  Inizia al km 141,1 (traversa fluviale del Naviglio Grande a Calcio) e termina al km 163,9 (scolmatore di Genivolta).

  E' un tratto sensibile alle crisi idriche, ma soffre, più di ogni altro, le modifiche del regime idraulico indotte dall'uso antropico del territorio.

  I dati storici infatti dimostrano come fosse presente un rilevante apporto di falda, tant'è che l'introduzione del regime regolato del lago d'Iseo non aveva interessato questo tratto perché autosufficiente, annullando la convenienza economica legata alla costruzione delle opere di regolazione.

  Sono presenti tre derivazioni irrigue storiche e otto attingimenti superficiali. Presenta caratteristiche idromorfologiche diverse dal primo segmento, l' alveo è contenuto da opere spondali che ne limitano la mobilità laterale, ma nel caso di portate ridotte può divenire sinuoso a canali intrecciati (anche se di dimensioni limitate).

  L' alveo assume un' ampiezza notevole ed è modificato ad ogni evento di piena, anche ordinaria, con i quali si creano o si spostano barre longitudinali o linguoidi, chiudendo i canali esistenti ed aprendone di nuovi.

  Poiché il segmento è caratterizzato dall'attività di regolazione variabile delle derivazioni durante l'anno, presenta andamento periodicamente variabile delle portate in alveo.

  Soprattutto nel periodo estivo, le portate fluenti nel segmento dipendono dall' alimentazione proveniente dalla falda sotterranea, in percentuale preponderante rispetto al rilascio di DMV alla sezione di chiusura del segmento precedente. L' interazione con la falda è condizionata da un

lato dall' andamento climatico stagionale e dall' inizio delle irrigazioni a monte, dall' altro dall' esercizio e dal numero degli attingimenti da falda presenti nella fascia laterale del territorio. Si è rilevato che il loro numero aumenta costantemente in virtù del rilascio di nuove concessioni, e che il loro esercizio normalmente prevede l' entrata in funzione nel medesimo ristretto periodo di tempo, con effetti depressivi sul livello della falda e la conseguente riduzione degli apporti di scambio con il fiume.

- **TERZO SEGMENTO** (Oglio inferiore).

  Inizia al km 163,9 (scolmatore di Genivolta) e termina al km 266,4 dove sfocia nel f. Po.

  Presenta cinque derivazioni irrigue storiche e oltre 50 attingimenti superficiali.

  Pur di notevole lunghezza, presenta andamento meandriforme ed è delimitato da argini continui; l' alveo presenta un cambio di pendenza del fondo, e un progressivo mutamento dei sedimenti, mentre la presenza di un sistema arginale diffuso comporta una limitazione della mobilità laterale.

  Dal punto di vista idraulico manifesta lungo tutto l'alveo il medesimo comportamento, influenzato dagli attingimenti superficiali e dai canali di scarico del sistema di bonifica idraulica e slegato da quello degli altri tratti, limitatamente alle problematiche del DMV. In questo segmento infatti, al manifestarsi di situazioni di scarsità idrica, si può constatare che gli apporti di falda sono quantitativamente superiori a quelli degli affluenti naturali o artificiali

  La sezione iniziale è interessata dall' immissione del canale scaricatore artificiale di Genivolta, che convoglia acque provenienti dal f.Adda, con portate rilevanti rispetto a quelle rilasciate dal secondo segmento nei periodi autunnali, invernali e primaverili, mentre scarica portate minime o nulle nel periodo estivo.

  E' caratterizzato da un progressivo incremento dell'influenza della portata di risorgiva e delle portate degli immissari naturali e artificiali. Di quest'ultima categoria sono rilevanti le portate degli immissari di natura irrigua, cioè di quelli che convogliano principalmente acque di colo dall'irrigazione, avendo verificato che gli immissari provenienti dai depuratori non alterano il regime delle portate in alveo.

  Ai fini della Sperimentazione è risultato che, per effetto degli apporti di falda, in esso fluiscono portate ben superiori a quelle di rilascio del DMV, e solo a valle del km 233,3 possono verificarsi condizioni critiche di DMV. In sostanza, il comportamento idraulico di questo segmento è risultato indipendente dalle condizioni idrauliche del secondo segmento.

La conseguenza più importante che si può trarre da questa divisone in tre segmenti del fiume si individua nella possibilità di definizione di regole specifiche di rilascio del DMV per ogni singolo tratto, regole anche diverse tra loro sia per quanto riguarda le quantità sia nella modulazione stagionale.

La loro definizione diventa uno degli obiettivi da porre al prosieguo della Sperimentazione per un secondo triennio.

L'approccio utilizzato ha quindi consentito la zonizzazione idrologica del fiume in tre segmenti, la cui valenza si dimostra con quanto è stato possibile ottenere, cioè di:

- evidenziare la dimensione temporale variabile delle criticità, quindi non stabili;
- testare le combinazioni delle variabili biologiche ed ecologiche delle comunità che discriminano le varie tipologie di perturbazione esaminate, quali carico organico, regimazione dei deflussi, interruzione del continuum fluviale dovuta alla realizzazione di manufatti artificiali; quindi evidenziare se i tratti bio-ecologici delle diverse componenti hanno efficientemente mostrato i cambiamenti funzionali delle comunità soggette a perturbazioni;
- fare la valutazione dei dati idrochimici delle stazioni di monitoraggio a livello di macroscala, utilizzando l'analisi statistica delle componenti principali (PCA); ciò ha consentito di ripartire

le stazioni in tre raggruppamenti differenziati dal chimismo delle acque permettendo di ipotizzare che il sistema fluviale sia composto da tre tratti con pressione differente;

- studiare le comunità macrozoobentonica e macrofitica con l'analisi statistica dell'NMDS per validare e/o migliorare la suddivisione in tratti effettuata sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque e delle caratteristiche morfologiche;
- identificare per l'ittiofauna sezioni e tratti continuativi, aventi conformazione morfologica, biologia e tipologie di impatti simili e accomunabili. Questa condizione permette di sviluppare valutazioni continuative degli impatti esistenti su una comunità naturalmente soggetta a forti migrazioni, e a distribuzione spaziale specifica, di specie e soggetti di classi d'età e stadi fisiologici differenti. È inoltre possibile definire precisamente, per ogni tratto, le reali condizioni limitanti e gli impatti esistenti, identificandone il peso e le possibili metodologie di mitigazione. In ultimo, l'analisi di tratti estesi permette di assorbire il disturbo locale e distribuire uniformemente le pressioni, "ripulendo" i dati dal disturbo relativo a fattori esterni, e permettendo di concentrarsi sull'identificazione degli effetti derivabili dalla modulazione del DMV; è possibile quindi definire regole di rilascio in grado di rispondere alle necessità dell'intero tratto e che non rivestono solamente una valenza sito specifica.

2.2 TRATTI FLUVIALI E TRATTI SOTTESI

Nelle varie relazioni sin qui presentate si sono illustrati i dati e i risultati raccolti nei tre anni di sperimentazione, ma dalla loro analisi è emersa l' utilità per la loro interpretazione di studiare un' aggregazione su due livelli: il primo "a mesoscala" (ovvero per 16 tratti fluviali) e il secondo "a macroscala" (3 segmenti fluviali).
I 16 tratti fluviali sono stati definiti in base alle caratteristiche morfologiche del fiume e alle discontinuità longitudinali, laterali, geopedologiche e granulometriche, includendo per ovvi motivi, le opere antropiche di natura idraulica, determinanti nella ripartizione del fiume stesso in tratti.
Il primo tratto di fatto è stato poi suddiviso in ulteriori 13 sottotratti contraddistinti da numerosi sbarramenti e traverse che permettono il prelievo d'acqua per scopi industriali e irrigui.
E' bene ricordare però che i processi fluviali non seguono la suddivisione nei 16 tratti (o 27 tratti definiti dal gruppo di lavoro del Tavolo Tecnico) stabilita con l'analisi morfologica; ad esempio, la presenza di traverse non modifica sostanzialmente il chimismo delle acque, che è invece influenzato, principalmente, da altri fattori sia interni che esterni al sistema.
Da questa considerazione deriva la necessità di studiare i dati anche nel loro insieme, al fine di indagare la validità della suddivisione proposta per il corso del fiume sulla base dei processi interni, e quindi sulla base della risposta a pressioni antropiche puntiformi e diffuse e ad interazioni con acque superficiali provenienti dagli affluenti e con acque sotterranee.
Una ulteriore caratterizzazione consiste nella opportunità di differenziare le valutazioni e le analisi statistiche tra i tratti di fiume a portata totale e i tratti sottesi dalle derivazioni idroelettriche. In questi ultimi infatti l' impatto della derivazione si produce per l' anno intero e per ogni derivazione, mentre per i tratti fluviali si concentra nella sola sezione di chiusura al km 141,1, e solo per la stagione estiva (invernali nelle altre stagioni solo in occasione di situazione di crisi estrema).

a) <u>TRATTI SOTTESI</u>

Sono sei, e sono stati classificati nel Cap. 5 della Relazione annuale del Terzo Anno. Sono dislocati tutti nel Primo Segmento fluviale, lungo circa 23 km di fiume, e il loro sviluppo totale è di circa 11 km.

Presentano condizioni morfologiche simili nel senso che, ad un primo tratto con minimo tirante idraulico e velocità maggiori, fa seguito un tratto con tirante in graduale aumento e velocità in riduzione, per poi collegarsi al tratto fluviale in corrispondenza della restituzione idroelettrica. Il collegamento presenta continuità idraulica, per cui i tratti sottesi non rappresentano ambienti separati dal fiume.

Nei tratti sottesi non sono presenti derivazioni idriche, in alcuni si immettono gli scarichi provenienti da depuratori comunali o comprensoriali

b) TRATTI FLUVIALI

Si è ritenuto opportuno suddividerli in tratti omogenei dal punto di vista idromorfologico, in quanto i risultati del monitoraggio hanno evidenziato come in molti casi questo aspetto rappresenti un condizionamento sensibile dello stato di qualità biologica del fiume, e possa influire sugli effetti dei rilasci di DMV, nel senso che risulta necessaria una corretta "gestione idromorfologica" del fiume se si vuole migliorare il livello di qualità generale. E' risultato evidente che, senza questa gestione, i rilasci non possono ottenere benefici qualunque siano le percentuali stabilite, mentre un adeguato "programma di manutenzione" dell' alveo consentirebbe di ottenere condizioni qualitative stabili e adeguate anche con rilasci modulati e ridotti.

Nel Primo Segmento i tratti fluviali sono risultati indifferenti ai fini del DMV per la presenza, già segnalata, di portate ben superiori, inoltre sono morfologicamente stabilizzati da un lungo lasso di tempo.

L' unica sezione critica risulta essere, come già detto, la sezione di chiusura al km 141,1, ma la regolazione delle portate effettuata dal Consorzio dell' Oglio è in grado di far rispettare i rilasci stabiliti.

Nel Secondo Segmento i tratti fluviali sono interessati, quantitativamente in modo differente, da due fattori significativi:

a) la presenza distribuita degli attingimenti superficiali, sia autorizzati sia abusivi, sui quali non è mai stato esercitato il controllo e il funzionamento secondo turni prestabiliti;
b) l' interazione tra il fiume e la falda sotterranea, variabile in funzione dell' andamento stagionale delle precipitazioni, dall' inizio della stagione irrigua (l' incremento degli apporti inizia dopo un certo intervallo di tempo da esso), e dall' uso della risorsa idrica nel territorio laterale al fiume, sia nel reticolo minore sia dagli attingimenti da falda.

L' andamento combinato di questi fattori potrebbe configurare una situazione di crisi delle portate in questi tratti fluviali, anche nel caso in cui alla sezione di chiusura del segmento precedente fosse rispettato il rilascio previsto.

Nel corso dello svolgimento del monitoraggio è stata rilevata l' esecuzione in questo segmento di interventi antropici di rimodellazione dell'alveo che hanno modificato profondamente la conformazione dell' alveo

Nel Terzo Segmento, ai fattori appena elencati, si aggiunge un ulteriore fattore critico, e cioè gli apporti degli immissari naturali, sia maggiori come il f.Mella e il f. Chiese, sia minori come Strone e Gambara, perché nel caso questi apporti non rispettassero le regole per i rilasci di DMV, si avrebbe una situazione critica al km 233,3 (Calvatone). La derivazione irrigua ivi presente dovrebbe cessare il prelievo per cause imputabili alla gestione della risorsa nei comprensori degli immissari, creando una situazione di crisi in un ampio comprensorio irriguo.

La Sperimentazione fa emergere un' ulteriore valutazione, e cioè che questi tratti presentano una situazione idromorfologica debole soprattutto nei confronti della fauna ittica anche in presenza di elevate portate in transito.

Per una migliore comprensione dei paragrafi successivi torna utile il seguente prospetto, nel quale sono indicate le corrispondenze delle suddivisioni in tratti operate dalle diverse Azioni di monitoraggio (vedi cap. 5 della Relazione del 3°anno):

tratto idrologico	km	tratto chimico- fisico/biologico	Macrotratto fauna ittica
PRIMO SEGMENTO	112,3	OGS1 – OGS2 – OGS3	primo Macrotratto
SECONDO SEGMENTO	141,1	OGS4 – OGS4 – OGS6 – OGS7	secondo (parte) Macrotratto

TERZO SEGMENTO	163.9	OGS8 – OGS9 – OGS10 – OGS11- OGS12 – OGS13 – OGS14 – OGS15 – OGS16	secondo (parte) e terzo Macrotratto

2.3 INFLUENZA DELLA MODULAZIONE DEGLI SCENARI SULLA MORFOLOGIA DELLE SEZIONI NEI TRATTI SOTTESI

Le misure di portata eseguite nelle 12 campagne permettono un' interessante valutazione sui mutamenti dei parametri fisici delle sezioni al variare delle portate in transito. Cioè è possibile conoscere come varia la dimensione dell' alveo interessato dalla vena fluida, definita da larghezza bagnata, profondità media, massima e spondale, velocità media e spondale della corrente. Variazioni significative segnalano la probabilità di modifiche fisiche degli habitat, e di influenze sulle comunità biologiche presenti, che devono essere quantificate o almeno stimate.

La valutazione è riferita a due sezioni comprese in due tratti sottesi, il primo relativo alla centrale di Palazzolo, il secondo alla centrale di Urago, che si differenziano tra loro per profondità e velocità della corrente a basse portate. Le due tabelle seguenti riportano i dati ricavati dalle misure di portata; sono stati ordinati per portate crescenti, in modo da poter agevolmente confrontare condizioni simili in anni diversi. Questo passaggio deve tener presente che con portate inferiori si possono avere larghezze bagnate superiori perché condizioni particolari dell' alveo a valle (restringimenti di sezione d' efflusso per depositi accumulo di depositi solidi o per presenza di detriti di grosse dimensioni) provocano aumento di velocità e quindi tiranti idrici minori.

Questa attività d' indagine potrebbe essere approfondita e sviluppata nell' eventuale monitoraggio in un secondo triennio.

staz. 14	Larghezza dell'alveo"bankfull channel" (m)	C.I. (mc/s)	Portata misurata (m3/s)	Larg.sez. bagnata (m)	Profondità dell'acqua			Velocità della corrente	
km 122,0					profondità media (cm)	profondità massima (cm)	profondità media di sponda 20% (cm)	velocità media sezione (m s-1)	velocità media fascia laterale 20% (m s-1)
data	49,8	50,4							
21/04/2011		6,3	3,2		34,1	59,5	25	0,382	0,10
16/08/2011		9,6	4,8		37,4	57,9	16	0,438	0,11
27/07/2010		11,3	5,7	30,0	40,5	65,4	18	0,476	0,15
27/04/2011		11,5	5,8		43,1	67	25	0,443	0,17
20/07/2011		13,1	6,6		42,9	61,7	19	0,529	0,18
04/08/2010		14,6	7,3	28,5	46,2	73,5	15	0,558	0,18
21/07/2010		15,1	7,6	29,1	55,5	98,8	25	0,473	0,14
03/08/2011		15,3	7,7		46,9	65,9	15	0,556	0,25
10/05/2011		19,1	9,6		52,5	76,9	25	0,579	0,19
11/08/2010		20,3	10,2		53,9	76,8	25	0,641	0,20
30/04/2010		23,8	12,0	30,2	65,2	100	25	0,61	0,21
26/01/2010		24,5	12,4	23,0	109	186	35	0,493	0,08
23/02/2011		45,0	22,7		77,4	105	30	0,918	0,35
02/02/2010		49,8	25,1	30,0	97,5	144	30	0,857	0,25
23/02/2010		58,7	29,6	31,0	103	160	35	0,929	0,35
08/02/2010		65,5	33,0	32,2	101	140	40	1,02	0,38
20/05/2010		90,5	45,6	30,0	107	150	50	1,33	0,40

La staz. 14 è situata nel tratto sotteso dalla derivazione della centrale di Palazzolo.

staz. 26	Larghezza dell'alveo"bankfull channel" (m)	C.I. (mc/s)			Profondità dell'acqua			Velocità della corrente	
km 134,4			Portata misurata (m3/s)	Larg.sez. bagnata (m)	profondità media (cm)	profondità massima (cm)	profondità media di sponda 20% (cm)	velocità media sezione (m s-1)	velocità media fascia laterale 20% (m s-1)
data	34,9	55,8							
04/11/2009		5,9	3,3	20,6	48,3	85,7	19	0,33	0,09
16/08/2011		8,7	4,8	29,5	37,4	57,9	18	0,438	0,11
09/09/2009		9,5	5,3	25,3	47,4	74,2	25	0,442	0,14
27/07/2010		10,2	5,7	29,7	40,5	65,4	21	0,476	0,16
11/11/2009		10,8	6,0	27,5	54,2	92	35	0,403	0,18
20/07/2011		11,8	6,6	29,0	42,9	61,7	20	0,529	0,16
18/11/2009		12,0	6,7	25,9	59,8	103	32	0,434	0,2
04/08/2010		13,2	7,3	28,5	46,2	73,5	34	0,558	0,25
27/04/2012		13,4	7,5	28,6	46	62,5	25	0,586	0,15
21/07/2010		13,7	7,6	29,1	55,5	98,8	24	0,473	0,21
30/04/2010		21,5	12,0	30,2	65,2	100	40	0,61	0,28
26/01/2010		39,8	22,2	30,6	90	129	58	0,807	0,3
23/02/2011		40,7	22,7	32,0	77,4	105	43	0,918	0,43
01/12/2009		43,2	24,1	30,7	84,5	124	65	0,928	0,35
09/02/2011		43,2	24,1	32,3	78,9	118	40	0,947	0,38
23/02/2010		53,0	29,6	30,9	103	160	70	0,929	0,5

La staz. 26 è situata nel tratto sotteso dalla derivazione della centrale di Urago

3. VALUTAZIONE DELLA VOCAZIONE ITTICA DEL F. OGLIO SUBLACUALE

Richiamando i contenuti dell' Azione di monitoraggio della fauna ittica riportati nelle Relazioni annuali precedenti, è ora possibile sviluppare le prime valutazioni continuative ed evolutive.
Un primo confronto con la realtà descritta dallo stato di fatto iniziale, ricavato prevalentemente dalle Carte Ittiche Provinciali (in alcuni casi datate e poco esaustive ai fini dello studio di un DMV), ha permesso di osservare alcune discrepanze minime, prevalentemente legate al potenziale ittiologico delle acque; anche se, in linea di massima, ha portato alla conferma degli equilibri ittici e dei popolamenti che colonizzano le acque del fiume.
Le indagini di campo hanno infatti accertato la reale vocazione ittica del fiume. Sia morfologicamente, che da un punto di vista della tipologia degli habitat, la comunità ideale è rappresentata da una dominanza di specie appartenenti alla famiglia dei Ciprinidi, con rapporti variabili tra specie reofile e limnofile a seconda del tratto di fiume. Viene esclusa la vocazione a salmonidi, data la condizione termica estiva del bacino di origine. Infatti il fiume Oglio sublacuale si origina dal lago d'Iseo che, nel periodo tardo primaverile ed estivo, raggiunge temperature dell'acqua all'incile che superano di molto i range termici critici per i salmonidi.

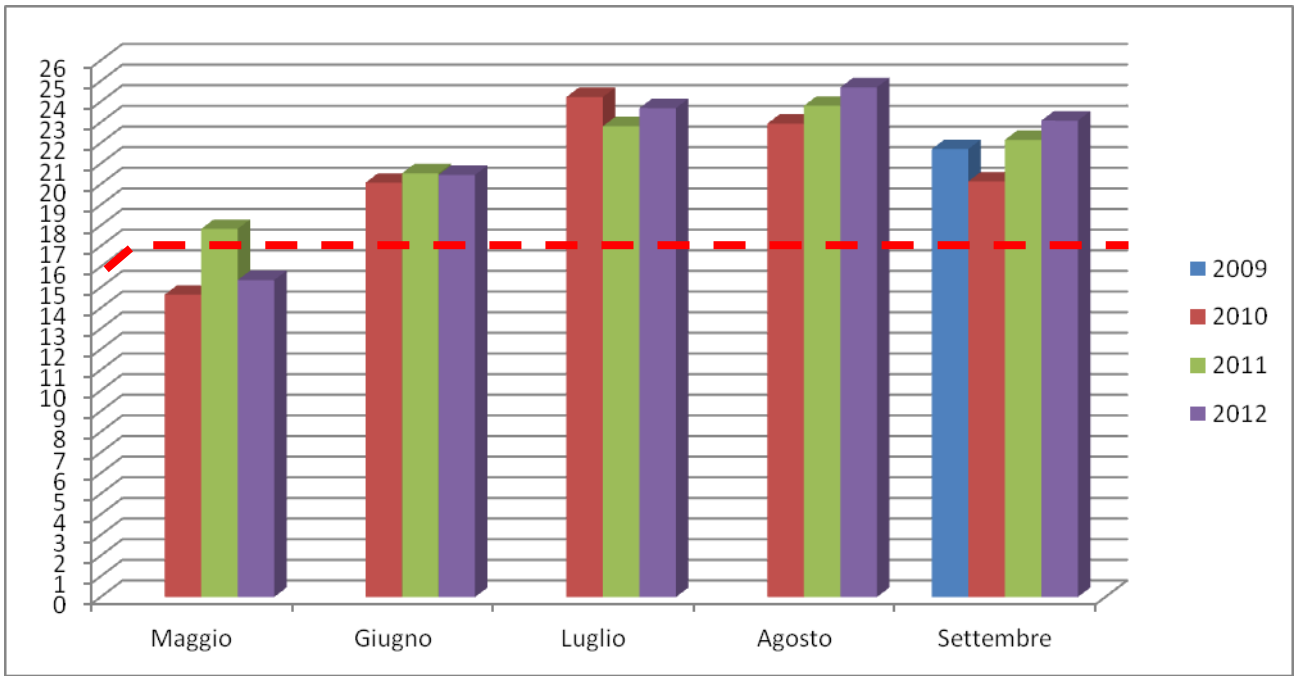

Grafico 1, temperature medie per i mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre nei 4 anni di studio. Dati biorari rilevati alla traversa fluviale di Sarnico. In rosso evidenziato il limite fisiologico di sopravvivenza dei soggetti di trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*)

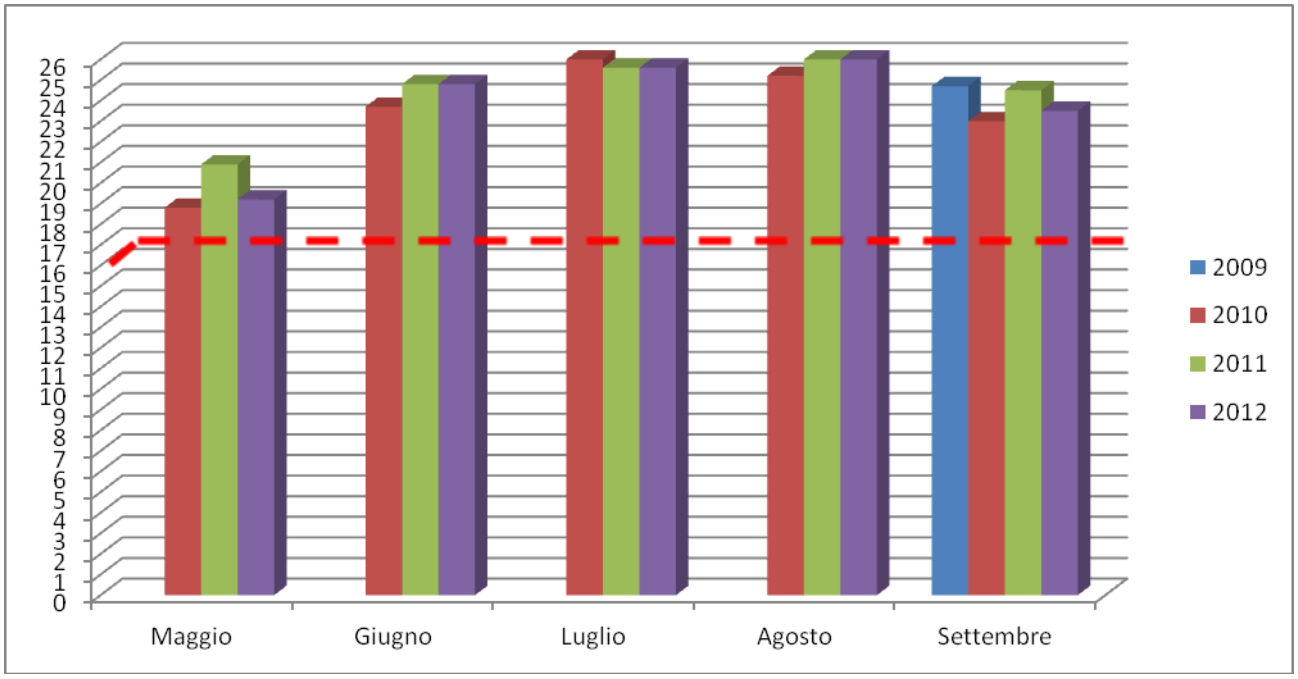

Grafico 2, temperature massime per i mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre nei 4 anni di studio. Dati biorari rilevati alla traversa fluviale di Sarnico. In rosso evidenziato il limite fisiologico di sopravvivenza dei soggetti di trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*)

Dai grafici risulta evidente che non sussistono le condizioni minime per la naturale sopravvivenza di una popolazione di trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*) stabile e vitale. Non si esclude in ogni caso la potenziale sopravvivenza di soggetti isolati, prevalentemente adulti (che in ogni caso non sono mai stati rilevati durante i campionamenti), che possono aver trovato condizioni sufficienti per sopravvivere in corrispondenza di risorgive o tratti mitigati da confluenze termicamente più permissive.
La presenza segnalata nelle carte ittiche, inoltre, è limitata al tratto centrale del fiume, indicativamente in corrispondenza dei tratti compresi tra Soncino (CR) e Quinzano (BS). In questi tratti, fino al 2008 (ossia all' entrata in vigore delle regole per il rilascio di DMV) il deflusso di acque provenienti dal lago

era minimo e la sopravvivenza delle specie ittiche nel tratto era garantita dalle risorgive, le quali, non essendo miscelate con le acque calde del Sebino, non risentivano di effetti di rialzo termico e potevano quindi identificare un habitat più idoneo, sebbene non ottimale. Le condizioni attuali di deflusso estivo non permettono il mantenimento di condizioni sufficientemente diffuse di tali habitat e impediscono definitivamente il mantenimento di popolazioni naturali di salmonidi; effetto che deriva dalle temperature di provenienza dell'acqua, non da un effetto di riscaldamento dovuto a basse portate. Inoltre, l'assenza di aree laterali, di risorgenze significative e di estese aree boscate tampone ai margini del fiume, riducono definitivamente la vocazione a Salmonidi del fiume Oglio sublacuale.
Il dettaglio di indagine adottato per la Sperimentazione si è dimostrato corretto ed ottimale, permettendo di osservare quelle che sono le reali pressioni esistenti sul fiume, distinguendole anche in funzione del tratto, e consentendo di osservare come, al termine del primo triennio, non si siano evidenziati disquilibri del popolamento ittico ascrivibili alla modulazione del DMV. Inoltre, proprio grazie all'indagine annua doppia, si è potuto constatare e confermare l'effetto di alternanza morfologica che si crea in corrispondenza dei tratti sottesi; i quali si identificano come aree morfologicamente idonee alla riproduzione e primo accrescimento della maggioranza delle specie presenti che, in assenza degli stessi, faticherebbero a trovare aree idonee per la frega nel tratto regolato (Sarnico – Calcio), ove il fiume si presenta regimentato e monocorsuale, con assenza di aree laterali e presenza di alterazioni morfologiche diffuse dettate dall'antropizzazione.
La rete di indagine si è rivelata idonea ed esaustiva al fine di indagare gli effetti della modulazione del DMV sull'ittiofauna costituente la comunità ittica definita degli ultimi decenni. Va infatti evidenziato che le principali pressioni di origine morfologica sono state realizzate da oltre 80 anni, identificando cambiamenti degli habitat i cui impatti sono oramai stati assorbiti, andando a delineare una comunità ittica che, fino all'ingresso dei popolamenti alloctoni, si manteneva stabile e dinamica nell'ambiente.
Al termine delle indagini del primo triennio viene quindi riconfermata l' utilità della suddivisione del fiume in 3 macrotratti per quanto concerne il popolamento ittico. Infatti all'interno degli stessi è possibile identificare pressioni, morfologia e condizioni omogenee, con specifiche necessità e peculiarità per ogni singolo tratto.
Da un punto di vista ittiologico questa suddivisione risponde pienamente alla condizione reale, permettendo di distinguere le pressioni e le condizioni favorevoli che insistono sul fiume. Tale distinzione consente anche di valutare ed evidenziare gli effetti ascrivibili alla modulazione del DMV. Ad esempio, richiamando quanto sopra riportato, nel tratto centrale (Calcio – Pontevico) si osserva che, nonostante sussistano le condizioni di deflusso estivo potenzialmente più limitanti, non si evidenziano fenomeni di degrado del popolamento ittico e che, anzi, in tale tratto si individuano le migliori condizioni biologiche per la fauna ittica.

In conclusione si può affermare che i doppi censimenti annuali hanno portato alla conoscenza degli equilibri ittici, alle dinamiche di popolazione e all'identificazione della distribuzione delle stesse e degli impatti esistenti. È stato quindi possibili studiare i mutamenti sito specifici e valutarne l'evoluzione, sia in termini di stazione (quindi valutando l'impatto locale eventualmente derivante dalla modulazione del DMV), sia in termini diffusi su macrotratti (come proposto nella Relazione del 3° anno). In tal modo, è stato possibile elaborare un' applicazione dell'indice qualitativo ISECI che non fosse influenzata dal disturbo arrecato da condizioni di impatto locale, discontinuità o disquilibrio biologico (specie alloctone), che limitano la sensibilità di risposta dell' indice sugli effetti potenzialmente derivabili dalla modulazione del DMV.

4. VALUTAZIONE DEGLI INDICI BIOLOGICI E CHIMICO – FISICI ACCORPATI PER MACROTRATTI

Dopo aver proceduto a raccogliere le valutazioni che scaturiscono dalle analisi del monitoraggio eseguito dalle Azioni idrologica e fauna ittica, e ricordando che le valutazioni e le analisi delle Azioni chimico – fisica e biologiche (macroinvertebrati, macrofite e diatomee) sono riportate integralmente nella Seconda Parte (attesa la loro complessità, è sembrato opportuno non sintetizzarle), si vuole fornire un quadro organico di tutte queste valutazioni raggruppate per Segmenti fluviali, con lo scopo di facilitare la comprensione della risposta dell' ambiente fluviale alla modulazione mensile del DMV e all' applicazione dei diversi scenari di rilascio previsti dal progetto di Sperimentazione.

Il supporto scientifico alle valutazioni è costituito dai risultati di tutti i monitoraggi illustrati nelle relazioni Annuali, e nei loro Allegati, a cui si rimanda qualora fossero necessari approfondimenti e riscontri.

4.1 PRIMO SEGMENTO

Come già segnalato al punto 2.1, il Segmento è caratterizzato da una sequenza ripetitiva di variazioni idrologiche del tipo "sotteso - bacinizzato", da un insieme di derivazioni irrigue e idroelettriche che utilizzano le acque regolate del lago d'Iseo e da 6 traverse fluviali, al servizio delle centrali idroelettriche, che determinano discontinuità longitudinale artificiale del corso d'acqua.
Ai fini dell' identificazione dei potenziali disturbi derivati dalla modulazione del DMV, gli unici tratti critici possono essere i sei tratti sottesi, per i quali è fisicamente possibile attuare una variazione degli scenari di rilascio. Nella valutazione dei tratti fluviali, dove la modulazione avviene per portate superiori ai parametri del DMV, si è tenuto conto anche dei possibili disturbi che la presenza dei tratti sottesi può produrre.
Di seguito si riportano le valutazioni degli indici biologici separatamente per i tratti sottesi e per i tratti fluviali.

INDICI CHIMICO – FISICI

TRATTI FLUVIALI

I tre tratti (OGS1, OGS2, OGS3) che costituiscono il Primo Segmento, sono caratterizzati da portate variabili nei diversi periodi dell'anno, anche a motivo dei prelievi per usi irrigui nella stagione estiva.
Analizzando i LIMeco per tratto in relazione ai diversi valori di portata stagionale, è evidente che lo stato di qualità è indipendente dalla quantità in transito nel sistema fluviale.

I tratti presentano uno stato di qualità elevato e buono per le restanti campagne di misura senza alcuna relazione tra stagione. Questi tratti sono caratterizzati dalla presenza di derivazioni irrigue che sembrano in ogni modo non influenzare lo stato di qualità di ottimo e buono anche durante la stagione estiva.

I tratti OGS_1 e OGS_2 presentano concentrazioni dei nutrienti e ossigeno disciolto simili in tutte le stagioni, e anche i sottotratti (dati non riportati) bacinizzati e sottesi non hanno stato di qualità differente. Nel tratto OGS_3 lo stato di qualità della stagione estiva non risulta diverso dalle altre stagioni, l'influenza delle acque di falda che apporta elevate concentrazioni di nitrato non determina un abbassamento del LIMeco.

Durante gli scenari di sperimentazione del gruppo A il fiume Oglio sublacuale non ha presentato problemi di marcata eutrofizzazione, tutti i parametri analizzati non hanno superato i valori soglia che possono determinare problemi per la vita acquatica.

TRATTI SOTTESI

In questi tratti a percentuale di saturazione dell'ossigeno (O_2%), la conducibilità, l'azoto ammoniacale e il LIMeco sono risultati essere dipendenti in modo statisticamente significativo dalla quantità di acqua in transito nei tratti indagati.

L' intervallo di O_2% indica un'ottima ossigenazione del sistema sia a bassi scenari di sperimentazione (ove il flusso dell'acqua ha caratteristiche decisamente lotiche e le acque tendono a raggiungere il 100% di saturazione nella condizione di equilibrio), sia in presenza di scenari superiori. Infine il confronto tra le $\%O_2$ delle stazioni nei tratti sottesi con le rispettive stazioni nei tratti bacinizzati di monte (dati non riportati) mostra la tendenza ad avere valori più elevati nelle stazioni di monte in estate e in primavera dove è maggiore la componente macrofitica, mentre si registrano valori più bassi in inverno quando prevale il processo respiratorio su quello fotosintetico
In particolare, la stazione STF26 presenta valori di conducibilità maggiori in tutte le stagioni e in tutti gli scenari a indicare una deviazione significativa dalle condizioni di contorno che caratterizzano tutto il tratto OGS_1, con ogni probabilità da imputare all'ingressione di acque di falda.
La significatività della dipendenza del punteggio LIMeco dalla % di DMV è funzione dell'O_2% e della concentrazione di azoto ammoniacale. Passando dal 5% a scenari > del 25% si osserva un aumento del punteggio del LIMeco, nonostante questo aumento non si concretizzi in un salto di classe. La qualità espressa dall'indice è elevata con la eccezione del tratto che include la stazione STF26 (stato buono, in particolare a basse % di DMV per il maggior apporto di azoto nitrico derivante dalle acque di falda).

I dati acquisiti nel corso dei primi tre anni di sperimentazione limitatamente al tratto regolato e a un numero ristretto di parametri, chiariscono che a un aumento delle portate in transito non corrisponde un miglioramento dello stato di qualità del fiume (in termini di LIMeco)
Nei tratti sottesi si poteva attendere una maggiore ampiezza di parametri chimici "sensibili" come ossigeno, azoto inorganico, fosforo, COD e solidi sospesi, in prossimità degli scarichi e al variare del regime di deflusso. Il fatto che i risultati sperimentali disattendano questa aspettativa suggerisce che in termini di rapporti relativi tra carichi sversati e capacità di diluizione, questo Segmento iniziale del fiume non presenti particolari criticità, neppure nelle stazioni prossime allo scarico di un depuratore tra i più grandi dell'intera area (Paratico, ~80,000 abitanti equivalenti)
Da segnalare che alcuni parametri idrochimici (conducibilità, azoto inorganico, fosforo particellato) non mostrano variazioni significative tra tratto fluviale a monte delle derivazioni e successivi tratti sottesi. In questo caso l'aumento o la diminuzione della portata sembra non influire sui processi di ritenzione, accumulo o trasformazione di tali composti.

I tratti sottesi influenzati dalle acque di falda inquinate da nitrato, come quello in cui si colloca la stazione STF26, dovrebbero essere trattati separatamente. Tale tratto è caratterizzato dal numero di repliche maggiori in condizioni di % di DMV comprese tra 15 e > del 25% e, nonostante questo, l'influenza della falda è evidente, sia in termini di concentrazione di alcuni parametri (conducibilità, nitrato e DIC), sia come comportamento generale del tratto, comparato agli altri tratti sottesi indagati. In tal caso si rendono necessari studi di dettaglio per valutare se all'aumento delle portate in transito corrisponda una ricarica della falda con acque fluviali e una minore restituzione di acque con caratteristiche chimiche completamente distinte.

Con particolare riferimento ai deflussi nei tratti sottesi e bacinizzati caratterizzati dalla presenza di scarichi di impianti di depurazione potrebbe essere interessante testare futuri scenari in cui sono estremizzate le portate minime al fine di individuare soglie oltre le quali l'impatto sulle acque è misurabile.

INDICI BIOLOGICI : MACROINVERTEBRATI - MACROFITE

TRATTI FLUVIALI

Mentre per LIMeco e ICMi la qualità delle acque è nel triennio quasi sempre in stato elevato/buono in tutte le stagioni, l'indice STAR/ISA classifica questo segmento fluviale come sufficiente in estate e scadente nelle altre stagioni. Per quest'ultimo indice sia l'analisi delle componenti principali che lo studio idromorfologico presenta valori minori, anche se si può individuare una differenza tra quelli relativi ai tratti bacinizzati e quelli relativi alle stazioni sottese. Nel fiume le caratteristiche riconducibili all'idrologia del sistema sembrano quindi influire sul valore dell'indice.

Per valutare la relazione tra i punteggi di qualità espressi dai diversi macrodescrittori (LIMeco, IBMR, STAR-ICMi/ISA e ICMi) è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson. Quest'ultimo non evidenzia correlazioni significative tra gli indici impiegati ($r < 0.40$), probabilmente a causa del fatto che ogni descrittore risponde in modo diverso alle differenti pressioni ambientali e/o antropiche che insistono sul fiume Oglio sublacuale

Generalmente il macrotratto 1 è quello che presenta valori minori dell'indice, anche se è possibile individuare una differenza tra quelli relativi ai tratti bacinizzati (OGS_1_1A, OGS_1_2B, OGS_1_4A, OGS_1_6A, OGS_1_6A) e quelli relativi alle stazioni sottese (OGS_1_1B, OGS_1_3B, OGS_1_5B, OGS_1_7A, OGS_1_7B). Nel fiume Oglio sublacuale le caratteristiche riconducibili all'idrologia del sistema sembrano quindi influire sul valore dell'indice.
E' comunque da rilevare una marcata variabilità dei valori dell'indice all'interno di ogni stazione che rende difficile l'individuazione di pattern regolari e di relazioni con gli altri indici di qualità

I valori dell'indice IBMR sono minori nel macrotratto 1, anche se è possibile rilevare la presenza di differenze rilevanti tra tratti bacinizzati (OGS_1_1A, OGS_1_2B, OGS_1_4A, OGS_1_6A, OGS_1_6A) e sottesi (OGS_1_1B, OGS_1_3B, OGS_1_5B, OGS_1_7A, OGS_1_7B). Le caratteristiche riconducibili all'idrologia del sistema sembrano quindi influire anche sul valore dell'indice IBMR.

TRATTI SOTTESI

I risultati relativi al comparto biotico mettono in evidenza un certo grado di destrutturazione delle comunità, parzialmente messo in luce dagli indici di qualità. Nel tratto di fiume Oglio interessato dalla presenza delle centrali idroelettriche mancano alcuni elementi che potrebbero in linea teorica favorire la presenza di comunità ben strutturate e più ricche in specie. Di fatto i risultati riconoscono il ruolo centrale delle caratteristiche idromorfologiche nell'indirizzare la suddivisione del primo tratto di fiume in tratti bacinizzati e sottesi, caratterizzati da comunità biologiche ben distinte. La presenza e l'integrità delle fasce riparie sembra assumere un ruolo importate, in particolare per la creazione di microhabitat specifici (dovuti all'effetto dell'ombreggiamento, alla propria struttura fisica, presenza di radici, ecc.) e per fornire risorse alimentari alternative che favoriscono certi tipi di forme biologiche

Lo studio dei tratti sottesi alle captazioni ha evidenziato una certa variabilità delle condizioni idrologiche, ma non di quelle di microhabitat

Analogamente a quanto riscontrato per l'indice STAR/ISA, i valori dell'indice IBMR sono minori in questo Segmento, anche se è possibile rilevare la presenza di notevoli differenze tra tratti bacinizzati e sottesi.

DIATOMEE

Per le Diatomee invece non esistono differenze significative in termini di biodiversità tra i siti a monte e a valle delle centrali, segnalando che questo parametro non può essere utilizzato come indicatore di disturbo fisico e di variazione delle portate. Non esistono inoltre differenze statisticamente significative nel numero di taxa planctonici e bentonici a monte e valle della centrale mentre non è stato possibile evidenziare differenze in termini di *guilds* ecologiche (low-profile; high-profile e taxa mobili) così come per le forme di crescita.
Sembra però esistere una forte influenza della componente stagionale che si riflette sulla composizione della comunità diatomica.

INDICI FAUNA ITTICA

La presenza di numerose traverse fluviali, distanti tra loro anche solo 1 km, che ne modificano bruscamente la morfologia e la tipologia ambientale, generano una distribuzione delle specie ittiche frammentata e spesso non tipica dell' ambiente. La presenza di popolazioni autoctone è comunque stabile e ben diffusa. Si evidenzia però critica la presenza di specie alloctone (siluro) che rappresentano uno dei principali fattori limitanti la naturale presenza e salute delle singole popolazioni.

Si ritiene che la presenza di tratti sottesi a portata ridotta in un fiume monocorsuale, antropizzato e privo di interazioni con ambienti laterali, abbia comunque un effetto positivo nel 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.

Ai fini della valutazione degli impatti sull'ittiofauna si ritiene più esaustivo considerare l'intero tratto come avente una pressione costituita da condizioni variabili, ma che nel complesso evidenziano l'esistenza di habitat variabili e condizioni idonee allo svolgimento di tutte le fasi fisiologiche del pesce. Infatti la comunità ittica risulta ben radicata in questo tratto, presentando numerose specie ittiche autoctone ben strutturate e distribuite (tra le quali: luccio, persico reale, anguilla, ghiozzo, cobite, pigo, savetta, cavedano e alborella). Si evidenzia che le pressioni esistenti sono ascrivibili a condizioni estranee alla modulazione del DMV che anzi si comporta da fattore fondamentale al fine di variare le condizioni morfologiche e idrauliche. Fondamentale è il mantenimento della continuità idraulica che, con la realizzazione delle ultime scale di rimonta, oramai non costituisce più un impatto forte come lo era negli anni passati; e ancor di più l'intervento umano nella gestione degli equilibri ittici tra specie autoctone ed alloctone. In conclusione, quindi, l'attuale modulazione del DMV non risulta in contrasto con gli obiettivi qualitativi prefissi per questo tratto, ove i limiti di qualità ed il degrado della comunità ittica sono prevalentemente da imputare all'effetto negativo esercitato dalla presenza del siluro. Al netto della sua pressione, come dimostrato anche nella relazione per il terzo anno, infatti non si evidenzierebbero sostanziali variazioni nella classe qualitativa.

4.2 SECONDO SEGMENTO

E' caratterizzato dalla presenza di quattro traverse tracimabili, tre per derivazioni irrigue, una per stabilizzare il fondo dell' alveo e proteggere un ponte stradale di una via di comunicazione primaria.

La descrizione fisica del Segmento è riportata al par. 2.1.

INDICI CHIMICO – FISICI

Nei tre anni di Sperimentazione, i tratti che lo costituiscono presentano uno stato di qualità elevato e buono, ad eccezione del periodo in cui è stata effettuata la campagna autunnale del 2009. Questi tratti sono caratterizzati dalla presenza di derivazioni irrigue che sembrano in ogni modo non influenzare lo stato di qualità di ottimo e buono anche durante la stagione estiva.

In questo Segmento, nelle campagne di primavera ed estate 2011 il primo tratto omogeneo (OGS_4) ha presentato uno stato di qualità sufficiente diversamente dalle altre campagne di misura, per le quali è stato definito lo stato di qualità elevato. I parametri portata e LIMeco non mostrano tra loro una relazione, perché lo stato del fiume risulta elevato sia a bassi che ad alti valori di portata.

Nel Segmento lo stato di qualità della stagione estiva non risulta diverso da quello delle altre stagioni, e questo fa capire che l'influenza delle acque di falda, che apporta elevate concentrazioni di nitrato, non determina un abbassamento di valore del LIMeco

Secondo l'analisi della PCA e dell'nMDS (ampiamente illustrata nella Seconda Parte di questa relazione Conclusiva) da questo tratto inizia a manifestarsi l'influenza delle acque di risorgive o di falda sulle acque fluviali con ripercussioni sulla vita acquatica del sistema. L' indice LIMeco evidenzia l'aumento di concentrazione del nitrato a causa dell'ingresso di acque di falda inquinate e stabilisce lo stato di qualità buono in estate quando la falda interagisce con le acque del fiume, in autunno perché probabilmente c'è ancora uno strascico di influenza e in primavera

INDICI BIOLOGICI : MACROINVERTEBRATI MACROFITE

Il Segmento, assimilabile al tratto di fiume fortemente influenzato dagli ingressi di acqua di falda, presenta valori di STAR/ISA generalmente molto elevati, in particolare nella stazione 44 con situazioni di classe elevata, spesso con valori delle metriche maggiori rispetto a quelli di riferimento elencate nel DM 260/2010
Inoltre presenta valori di IBMR generalmente elevati, in particolare nella stazione 31 con situazioni di classe media (10.93).

INDICI FAUNA ITTICA

Il Segmento è morfologicamente omogeneo e classificabile come zona dei Ciprinidi a deposizione litofila, ma risente delle temperature delle acque del lago, di una morfologia di alveo a volte banalizzata, dell' assenza di una fascia boscata tampone continuativa. Nonostante questo si identifica come il tratto ittiologicamente più interessante e dinamico, con popolazioni autoctone ben strutturate e vitali. In questo tratto il siluro si presenta raro o assente, condizione che permette una normale dinamica delle singole popolazioni.

Si caratterizza anche per una morfologia e un assetto biologico differente tra le specie, per la fauna ittica è qualitativamente il Segmento migliore 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*). An-

che in questo caso 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. Al termine dei 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, e principalmente dati i valori di temperatura, 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.

Infine, questo tratto si caratterizza come quello con le miglior condizioni morfologiche, riparie e biologiche; non evidenzia una condizione penalizzante derivabile dall'applicazione di scenari modificati. Qualitativamente, anche a seguito dell'applicazione dell'indice ISECI, risulta in una classe di buono o prossima al buono, condizione che permette di valutare come non critica la modulazione del DMV applicata.

4.3 TERZO SEGMENTO

La descrizione fisica è riportata al par. 2.1. Si fa presente che, in accordo con la tabella al par. 2.2, i primi due tratti omogenei (OGS_8 e OGS_9) sono assimilabili ai tratti omogenei del Secondo Segmento per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche, ma comunque non si differenziano in misura rilevante dagli altri del Segmento.

INDICI CHIMICO – FISICI

Lo stato di qualità del Segmento non segue una coerenza stagionale o tra scenari di sperimentazione, e per la maggiore parte delle campagne di misura risulta essere sufficiente. Ad esempio, la campagna invernale 2011 caratterizza tutti i tratti fluviali con lo stato elevato e buono; diversamente si pone in discontinuità rispetto alla campagna autunnale 2009. Da notare anche che le campagne estiva 2009 e primaverile 2010 mostrano nel complesso uno stato di qualità buono negli ultimi tratti di fiume.

In definitiva, i tratti omogenei (da OGS_10 a OGS_16) appartenenti al segmento potamale del fiume e contraddistinti dai numerosi ingressi, inclusi gli affluenti principali Strone, Mella e Chiese, risultano omogenei dal punto di vista chimico-fisico con qualità che varia tra scarso e buono.

INDICI BIOLOGICI : MACROINVERTEBRATI MACROFITE

Nei primi tre tratti omogenei gli Indici Biologici presentano valori che non seguono andamenti simili e consolidati, ad esempio l' indice STAR ICMi-ISA determina lo stato di qualità sufficiente del tratto OG_8 nel periodo estivo nonostante LIMeco e ICMi definiscano una condizione elevata del sistema, e nelle restanti stagioni lo stesso indice suggerisce uno stato elevato del sistema, ma solo nella stagione invernale LIMeco e STAR ICMi- ISA sono concordi nel classificare il tratto in stato di qualità elevato.

Il Segmento presenta in media valori degli indice intermedi tra quelli dei Segmenti Primo e Secondo. Anche la marcata variabilità dei valori dell'indice IBMR all'interno di ogni stazione non permette di individuare pattern regolari e relazioni con gli altri indici di qualità.

INDICI FAUNA ITTICA

Il Segmento acquisisce definitivamente la conformazione di un fiume di pianura, con una morfologia e

tipologia degli habitat che riporta alla zona dei Ciprinidi a deposizione fitofila, ma che risente enormemente della significativa banalizzazione dell'alveo, della totale assenza di fasce boscate riparie e dell'importante pressione biologica esercitata dalle specie ittiche alloctone.

Il tratto terminale del Segmento 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.

Questo Segmento si identifica per quello maggiormente degradato. In esso si sommano gli effetti derivanti dall'attività umana (prevalentemente l'uso agricolo che ha fortemente modificato rive e sponde), della banalizzazione dell'alveo e della pressione derivante dalle specie alloctone invasive e destrutturanti il popolamento autoctono. Le condizioni esistenti sono di per se in conflitto con il raggiungimento degli obiettivi di qualità prefissi per il 2015 e, stante la condizione attuale, la modulazione del DMV non è in grado di evidenziare sostanziali modificazioni sullo stato attuale, ne' in positivo nè in negativo. Le priorità di riqualificazione di tale Segmento non risiedono nella modulazione dei rilasci di DMV, bensì nell' implementazione della la morfologia, della ricostruzione di fasce boscate tampone lungo le rive, e nell' attuazione del controllo efficace degli usi puntiformi, presenti in numero rilevante lungo brevi tratti di fiume. Inoltre, l' attività svolta ha evidenziato che un' altra priorità di riqualificazione consiste nel controllo delle specie alloctone invasive; un esempio di intervento è rappresentato dal momentaneo mantenimento della discontinuità esistente a Isola Dovarese, dove l'attivazione della scala di rimonta in realizzazione per l'impianto idroelettrico porterebbe ad un'ulteriore espansione degli areali invasi dalla rimonta alloctona del fiume Po.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'esperienza condotta sul fiume Oglio sub lacuale, attraverso un approccio multidisciplinare, ha permesso di ricondurre la questione del DMV in un quadro di più generale riqualificazione ambientale del corso d'acqua, avviando nel contempo un confronto aperto e trasparente sulla complessa questione del deflusso minimo vitale nel tentativo di abbandonare le attuali logiche di applicazione rigida delle formule, utilizzate indifferentemente per ogni situazione ambientale, e di superare i limiti impliciti negli approcci di tipo vincolistico.
Questo studio ha consentito di individuare, con una certa precisione, lo stato attuale del fiume e di identificare le criticità a cui è sottoposto.
Per ogni settore di studio e per ogni anno di sperimentazione si è elaborato uno specifico e dettagliato rapporto, in cui si sono analizzati tutti i risultati ottenuti, al fine di fornire una base scientifica che consenta di documentare correttamente lo stato della situazione del fiume, suddiviso in tre macrotratti omogenei (Segmenti) in relazione alle caratteristiche geomorfologiche, idrologiche, idrauliche, chimico-fisiche e biologiche nonché alla presenza e all'entità di derivazioni e immissioni.

Sulla base degli obiettivi che ci si era proposti

- Obiettivo 1 - Interconnessione delle competenze
- Obiettivo 2 - Informazioni a supporto delle regole
- Obiettivo 3 - Analisi delle cause delle situazioni critiche
- Obiettivo 4 - Analisi delle condizioni limite per il bacino

nello studio e definizione del DMV, si è optato per un approccio di carattere prettamente idrologico affidando ai metodi biologici sperimentali l'importante compito di verifica e validazione puntuale dei risultati ottenuti. Con questo approccio multidisciplinare, che tiene conto dell'imprescindibile ruolo del regime fluviale nella definizione degli habitat, dell'uso della risorsa e dell'oggettiva incertezza connessa con le metodologie biologiche sperimentali, si ritiene di aver pienamente colto il senso delle procedure, così come consigliato nei lavori scientifici di riferimento, e dato risposta alle richieste delle normative vigenti.

In particolare, nel prendere atto delle numerose informazioni acquisite nei tre anni di attività, si è sviluppato un ragionamento scientifico di carattere multidimensionale:

- sul **comportamento** del fiume in tutta la sua lunghezza, per Segmenti e per tratti omogenei definiti, analizzando in particolare la capacità metabolica complessiva del sistema in relazione alle portate e agli ingressi puntiformi rispetto al deflusso in alveo, ovvero la capacità di diluizione dei carichi inquinanti nei tratti immediatamente a valle di immissari, scarichi di depuratori e altro;
- sulla **funzionalità** del corso d'acqua relativamente ai processi morfologici, idraulico-idrologici, biologici e ittici basandosi sull'osservazione delle forme e dei processi del corso d'acqua nelle condizioni attuali e, quando possibile, sul confronto con le forme e i processi attesi per la tipologia fluviale presente nei tratti esaminati;
- sulle **relazioni** esistenti tra le diverse componenti studiate, i relativi descrittori e la lettura congiunta degli indicatori che hanno consentito di esprimere un giudizio sullo stato del Segmento e/o dell'intero fiume, valutato in relazione al tema considerato (morfologico, idraulico, biologico, ittico) ed espresso in termini quali - quantitativi;
- sul **grado di connessione** tra il sistema fluviale e gli ambienti laterali in relazione ai deflussi in alveo;
- sugli **effetti** dei rilasci idroelettrici e irrigui sulle dinamiche fluviali, individuando le relazioni tra prelievi idroelettrici e/o irrigui, deflussi in alveo e qualità integrata del sistema fluviale;

- per **valutare**, individuate le componenti critiche, l'incidenza delle portate di rilascio sul livello complessivo della qualità del fiume nelle diverse sequenze stagionali evidenziando così le reali cause delle criticità esistenti.

L'insieme delle valutazioni nei differenti settori d'indagine ha consentito quindi:

- di fornire una lettura dello stato complessivo del Segmento considerato e/o dell'intero fiume in un'ottica continuativa fino ad oggi mai sviluppata;
- di individuare gli elementi critici che esprimono, oltre ai valori e alla qualità, le ragioni che hanno portato a definire il DMV o i differenti DMV da applicare nei tratti fluviali;
- le tendenze del fiume e dei singoli tratti omogenei rispetto alle pressioni attuali e future;
- l'effetto della modulazione del DMV sul sistema fluviale, inteso sia come Segmenti sia come unica entità, in funzione degli impatti al momento esistenti.

Nell'ambito del progetto, sulla base delle situazioni di maggior criticità di tipo quali - quantitativo evidenziate nel corso di precedenti studi e da nostri sopralluoghi, considerata l'accertata carenza di informazioni e dati per le parti mediana e inferiore del fiume e per ottenere un'adeguata rappresentazione dello stato di fatto, si era proposto un modello molto dettagliato, diffuso lungo tutto il corso d'acqua.

Lo studio ha contribuito ad individuare le combinazioni delle variabili biologiche ed ecologiche delle comunità che discriminano le varie tipologie di perturbazione esaminate, quali carico organico, regimazione dei deflussi, interruzione del *continuum* fluviale dovuta alla realizzazione di differenti manufatti artificiali, ed ha evidenziato che i tratti bio-ecologici delle diverse componenti hanno efficientemente mostrato i cambiamenti funzionali delle comunità soggette a perturbazioni.

5.1 VALUTAZIONI SUL COMPORTAMENTO IDRAULICO DEL FIUME OGLIO SUB LACUALE

Dal punto di vista idrologico i dati raccolti hanno consentito di comprendere il comportamento del sistema delle derivazioni nei diversi scenari, apportando un significativo grado di avanzamento alle conoscenze in ambito idrologico, soprattutto nella porzione più meridionale, meno regolata, del fiume.
I risultati conseguiti nel triennio ci consentono di affermare che le modalità di rilascio dei DMV sperimentali hanno garantito in alveo la quantità d'acqua prevista negli obiettivi di programma e che si è sempre assicurata la continuità idrica nei tratti analizzati con portate uguali o lievemente superiori rispetto al DMV.

L'analisi delle informazioni a nostra disposizione per ogni singolo Segmento si può così riassumere:

- come previsto, gli unici potenziali punti critici nel Primo Segmento si sono riscontrati nei tratti di alveo sotteso dalle derivazioni idroelettriche. In questa parte del fiume, infatti, le derivazioni irrigue non sono in grado di incidere sul deflusso in alveo al punto da ridurre la portata ai limiti di scenario previsto, disponendo mediamente di abbondante risorsa.
- Una particolare criticità si è manifestata, al termine del Primo Segmento, all'opera di presa del Naviglio Grande Pallavicino che, nel solo periodo irriguo estivo, genera la necessità di appiattire le portate sullo scenario di riferimento sul tratto di valle (5%), senza comunque aver mai registrato condizioni di non rispetto degli obiettivi previsti.
- il Secondo Segmento si caratterizza in particolare per la sensibilità alle crisi idriche; soffre, più di ogni altro, delle modifiche del regime idraulico indotte dall'uso antropico del territorio. Infatti, si evidenziava che in questo Segmento, caratterizzato anche dalla presenza distribuita degli attingimenti superficiali autorizzati e abusivi, c'è la presenza di una interazione tra fiume e falda sotterranea con una forte componente di acque di risorgiva, spesso inquinate, variabile in funzione dell'andamento stagionale delle precipitazioni, dall'inizio della stagione irrigua, e dall'uso della risorsa idrica nel territorio laterale al fiume.
- nel Terzo Segmento si manifesta il medesimo comportamento, risultando influenzato dagli attingimenti superficiali e dai canali di scarico del sistema di bonifica idraulica. E' slegato dal

comportamento degli altri Segmenti, limitatamente alle problematiche del DMV. Infatti, al manifestarsi di situazioni di scarsità idrica, si può constatare che gli apporti di falda sono quantitativamente superiori a quelli degli affluenti naturali o artificiali.

L'andamento combinato di questi fattori potrebbe configurare una situazione di crisi delle portate in questi tratti fluviali, anche nel caso in cui alla sezione di chiusura del segmento precedente fosse rispettato il rilascio previsto.

5.2 VALUTAZIONE DELL'INDAGINE CHIMICO-FISICA

L'analisi a macroscala, condotta attraverso l'utilizzo dell'analisi statistica delle componenti principali (PCA) sui dati idrochimici delle stazioni di monitoraggio, ha permesso di ripartire le stazioni in tre raggruppamenti, differenziati dal chimismo delle acque, e ipotizzare che il sistema fluviale sia composto da tre macrotratti con funzionalità differenti.

L'analisi della qualità chimico-fisica delle acque del fiume ha consentito di descrivere in modo chiaro i trend spaziali di qualità, a loro volta correlati con alcuni indicatori biologici e le portate.
Le analisi di tipo relazionale tra portate e qualità del sistema fluviale si sono rivelate invece possibili solo per i descrittori di tipo fisico-chimico, in grado di rispondere nel breve periodo alle modulazioni di portata. Queste analisi non hanno evidenziato, nei range di portate testate, variazioni significative della qualità dell'acqua al variare delle portate che si sono mantenute all'interno di range estremamente contenuti.

L'analisi delle tendenze indica nel fiume l' aumento monte-valle dei valori dei nutrienti disciolti e particellati, comune a tutte le stagioni d'indagine. L'azoto nitrico è il parametro che influenza le diverse componenti; il fiume non presenta problemi di anossia e la richiesta d'ossigeno per degradare la sostanza organica risulta rilevante solo nelle ultime due stazioni potamali.

Non si evidenzia in alcun punto del fiume, e in alcuna stagione, un salto drastico delle caratteristiche integrate di qualità delle acque, ad indicare che il corso d'acqua non riceve apporti quantitativamente significativi di acqua con caratteristiche tali da cambiarne lo stato complessivo. I due immissari più rilevanti (f. Mella e f. Chiese) apportano acque di qualità modesta, ma in punti del fiume dove le portate dell' alveo principale sono significative e quindi presentano una discreta capacità di diluizione.

Solo in estate il corso d'acqua presenta un funzionamento differente dal *continuum* fluviale. Due sono i fattori che rendono anomala e critica la stagione estiva: lo sfruttamento antropico delle acque concentrato nei primi 30 km e l'alimentazione del fiume da parte di acque sotterranee spesso inquinate dallo ione nitrato.

L'indice LIMeco si attesta su valori compresi tra sufficiente e elevato, mantenendo una certa stabilità degli andamenti stagionali nei tre distinti anni di ricerca: lo stato di qualità definito con l'indice LIMeco è migliore nel primo Segmento (tra stato ottimo e buono) e peggiora nel secondo e terzo Segmento (tra buono e sufficiente) dove sono abbondanti i nutrienti provenienti in particolare dell'attività agrozootecnica che insiste sul bacino.

Alla luce di quanto detto, si può affermare che:

- il range degli scenari scelti (5% -15%) per studiare il DMV potrebbe essere troppo ristretto per riscontrare differenze significative nelle risposte del fiume (capacità autodepurativa) a variazioni di pochi $m^3 s^{-1}$;
- è troppo breve il tempo di latenza del sistema per rispondere alle diverse condizioni di portata con conseguenti ritardi nel manifestare differenze significative in termini metabolici e funzionali;
- la dominanza dell'azoto nitrico, macroinquinante chiave del fiume Oglio sub lacuale, è capace di mascherare le differenze nei processi metabolici fluviali tra i differenti scenari;

- i risultati analitici per i tratti sottesi con scenari variabili di portata non sembrano indicare, alle portate minori, un peggioramento significativo degli indici sintetici di qualità fluviale, anche a causa dell'assenza, nel primo Segmento, di apporti elevati di acque di scarsa qualità dagli immissari o dai depuratori.
- il quadro complessivo dello stato di qualità del fiume Oglio sub lacuale non è allarmante, ma questo risultato va associato anche alla condizione di abbondanza idrica che ha caratterizzato i tre anni di sperimentazione.

5.3 VALUTAZIONI DELLE RELAZIONI TRA MACROINVERTEBRATI, MACROFITE E REGIME DELLE PORTATE DEL FIUME

Al termine del triennio di sperimentazione si dispone di un buon livello di conoscenza del fiume e delle sue dinamiche; ciò consente di affermare che per tutti gli scenari testati le condizioni quali - quantitative delle acque appaiono consone alla vita degli organismi acquatici.
I dati a disposizione indicano piuttosto che gli interventi antropici passati (bacinizzazioni, derivazioni, realizzazioni di infrastrutture che alterano la continuità del sistema fluviale) tracciano le differenze macroscopiche, statisticamente significative, soprattutto delle componenti biotiche. Le comunità sono infatti riconducibili a "tipologie" di segmenti caratterizzati da diverso idrodinamismo, non tanto (o unicamente) lungo il classico gradiente monte valle, quanto piuttosto lungo i numerosi gradienti artificiali (ad esempio a monte e a valle di sbarramenti).

Nello specifico, si può affermare che nel Primo Segmento mancano alcuni elementi che potrebbero in linea teorica favorire la presenza di comunità ben strutturate e più ricche in specie, essendo le stesse soggette al disturbo originato dai cambiamenti morfologici e antropici. Di fatto i risultati sembrano evidenziare il forte influsso delle caratteristiche idromorfologiche, tali da giustificare la suddivisione del primo Segmento in tratti bacinizzati e sottesi, caratterizzati da comunità biologiche ben distinte. Questi tratti presentano al loro interno diverse criticità, quali scarsa varietà di microhabitat, limitata possibilità di movimenti laterali del fiume e conseguente colonizzazione di nuovi microhabitat, bassa eterogeneità idrologica (velocità della corrente e profondità), scarsa interazione con le fasce riparie (ove presenti). In questo contesto riuscire a discriminare gli effetti della gestione dei deflussi in alveo da quelli dovuti alle caratteristiche idromorfologiche del sistema risulta difficile, alla luce anche dei tempi di risposta delle comunità biologiche a cambiamenti graduali delle portate. Allo stato attuale, ad esempio, l'aumento delle portate non si traduce in un effettivo aumento delle superfici colonizzate a causa degli impedimenti strutturali dovuti alle condizioni fortemente artificializzate del tratto di fiume considerato.

Generalmente il primo Segmento presenta valori minori dell'indice STAR/ISA e IBMR, anche se è possibile individuare una differenza tra quelli relativi ai tratti bacinizzati e quelli relativi alle stazioni sottese; le caratteristiche riconducibili all'idrologia del sistema sembrano quindi influire sul valore dell'indice.
Nel secondo Segmento, fortemente influenzato dagli ingressi di acqua di falda, i valori di STAR/ISA sono generalmente molto elevati, come i valori di IBMR, con in qualche caso situazioni di classe media.

Nel terzo Segmento si rilevano in media valori dell'indice STAR/ISA e IBMR intermedi tra quelli del primo e secondo Segmento. La marcata variabilità dei valori dei due indici all'interno di ogni stazione non consente di individuare pattern regolari e relazioni con gli altri indici di qualità.

In definitiva si può affermare che:
- l'analisi delle comunità di macroinvertebrati e macrofite conferma la suddivisione in tratti suggerita dall'analisi morfologica;
- la struttura e la diversità delle comunità di macroinvertebrati e macrofite è influenzata dalla morfologia e dai parametri idrologici (velocità e profondità) che distinguono i tratti fluviali bacinizzati – sottesi – potamali;
- la stagione estiva è determinante per le differenze tra tratti fluviali.

- i dati raccolti evidenziano il ruolo strategico giocato dai fattori idrologici nel guidare 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, PO_4^{3-} e CH_4), rappresenta la principale *driving force* dell'ordinamento e, quindi, va considerata la variabile chiave per spiegare la struttura delle comunità a macrofite del fiume.

L'analisi dei dati relativi alle Diatomee evidenzia che le comunità sono ben strutturate e mature, che non si registrano significative variazioni in termini di biodiversità nel confronto tra siti a monte e a valle delle centrali e che sembra esistere nel primo Segmento una forte influenza della componente stagionale che si riflette sulla composizione della comunità diatomica.

5.4 ANALISI DELLE COMUNITÀ ITTICHE

Dall'esame dei risultati dei tre anni di indagine, si può affermare che il sistema fluviale ha evidenziato, soprattutto attraverso il confronto con i dati storici, i seguenti punti significativi:

- la qualità dell'ambiente acquatico appare sostanzialmente stabile mentre nel complesso si osserva un peggioramento dello stato di conservazione funzionale del sistema procedendo dall'incile del lago alla foce in Po, imputabile prevalentemente alla destrutturazione dei contesti vegetazionali laterali a favore di una massimizzazione delle trasformazioni dei contesti golenali in terreni destinati ad uso agricolo, alla banalizzazione dell'alveo ed a processi biologici sbilanciati nei rapporti tra le specie autoctone ed alloctone;
- persistono fenomeni erosivi diffusi, localmente accentuati. L'avvenuta riduzione della divagazione del fiume, determinata soprattutto da opere idrauliche longitudinali, ha portato alla semplificazione del paesaggio fluviale, limitando i cicli di genesi, sviluppo e scomparsa di microambienti come meandri, stagni naturali temporanei e lanche, limitando quindi la disponibilità di habitat fondamentali per l'ittiofauna;
- in una cornice di paesaggio parzialmente tutelato e fortemente condizionato dall'uomo, si raffigura un fiume estremamente manomesso e condizionato da fenomeni esterni alla modulazione del DMV e che vede, malgrado la sostanziale stabilità delle popolazioni ittiche autoctone rispetto alle popolazioni alloctone, il siluro costituire da solo circa il 50% della biomassa totale catturata;
- si evidenziano peculiari caratteristiche biologiche strettamente legate alla gestione idrologica del fiume; in particolare le basse portate determinano in alcuni punti l'identificazione di specifici areali e comunità. In tutto il tratto indagato si sono valutate le discontinuità del corridoio ecologico in senso trasversale e le interconnessioni tra le funzioni esistenti nel territorio circostante al corso d'acqua e l'ambiente fluviale vero e proprio, mettendo in luce le criticità attuali dell'ecosistema fluviale, i tratti di pregio, le zone da riqualificare. In ogni caso 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

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 vitaliL'analisi dinamica sin qui condotta ha consentito di conoscere meglio le caratteristiche complessive dell'Oglio sub lacuale e permesso di capire meglio le capacità di reazione del fiume alle modificazioni prodotte dall'attività antropica e dall'uso del territorio, soprattutto le capacità di mitigazione degli eventi di crisi idrica.

6. QUADRO SINOTTICO DELLE CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

- L'esperienza condotta sul fiume Oglio sub lacuale, attraverso un approccio realistico pragmatico e multidisciplinare, ha permesso di individuare con una certa precisione lo stato attuale del fiume, di identificare i deficit a cui è sottoposto e di documentare esaurientemente lo stato fiume, che viene suddiviso in tre tratti omogenei (macrotratti) in relazione alle caratteristiche geomorfologiche, idrologiche, idrauliche, chimico-fisiche e biologiche, nonché alla presenza e all'entità di derivazioni e immissioni.
- Nelle 12 campagne di misura si è applicata, ove possibile, una modulazione degli scenari di rilascio delle portate, variabili dal 5% al 15% della componente idrologica (C_Idr), e basata sulla successione settimanale delle diverse portate.

  L'andamento climatico registrato nei tre anni di sperimentazione non ha però presentato situazioni di scarsità idrica nel bacino del fiume, anzi in alcune circostanze non è stato possibile applicare uno scenario per la presenza in alveo di portate superiori alla richiesta. In tali condizioni si è comunque proceduto al monitoraggio, permettendo di ampliare il quadro di conoscenza dello stato dell'ambiente fluviale e delle sue dinamiche per quanto concerne le situazioni normali o abbondanti. L'unica situazione che non si è potuta valutare è quella di forte scarsità idrica, cioè di uno scenario in cui in alveo transitano portate minime estreme.

- E' importante sottolineare che per i differenti campi di ricerca il periodo di osservazione si basa unicamente su tre anni. Per evitare una generalizzazione delle conclusioni e per poter elaborare misure efficienti si rende necessario adottare, nella lettura complessiva del sistema fiume, tutte le precauzioni possibili.

- Le CRITICITA' possibili nei tre Segmenti fluviali si possono così riassumere:

- gli unici potenziali punti critici nel primo Segmento si sono identificati nei tratti di alveo sotteso dalle derivazioni idroelettriche. In questa parte di fiume, infatti, le derivazioni irrigue non sono in grado di incidere sul deflusso in alveo al punto da ridurre la portata ai limiti di scenario previsto, disponendo mediamente di abbondante risorsa.

- una particolare criticità può manifestarsi alla sezione di chiusura del Primo Segmento, a valle dell'opera di presa del Naviglio Grande Pallavicino che, nel solo periodo irriguo estivo, genera la necessità di appiattire le portate sullo scenario di riferimento il tratto di valle (5%), senza comunque aver mai denotato condizioni di non rispetto degli obiettivi previsti.

- il Secondo Segmento si caratterizza in particolare per una maggiore sensibilità alle crisi idriche, ma soffre, più di ogni altro, delle modifiche del regime idraulico indotte dall'uso antropico del territorio. Infatti, si evidenzia che questo Segmento è interessato da una sensibile componente di acque di risorgiva, spesso inquinate.
  La conformazione dell'alveo attivo, mutevole anche stagionalmente perché, a seguito di maggiori portate (non necessariamente di piena), si espande trasversalmente e assume in molti tratti una conformazione meandriforme, unitamente all' evoluzione planimetrica delle barre, modifica nei canali attivi i parametri idraulici tirante d' acqua, velocità e perimetro bagnato, importanti per la variazione di alcuni descrittori di qualità chimica e biologica.

- il terzo Segmento risulta influenzato dagli attingimenti superficiali e dai canali di scarico del sistema di bonifica idraulica, ed è slegato da quello degli altri Segmenti, per quanto concerne le problematiche del DMV. Al manifestarsi di situazioni di scarsità idrica, si può constatare che gli apporti di falda sono quantitativamente superiori a quelli degli affluenti naturali o artificiali, e

quindi risultano determinanti, tenuto conto del carico inquinante che trasportano, per la qualità dell' ambiente fluviale.

- L'analisi della qualità chimico-fisica delle acque ha consentito di descrivere in modo chiaro i trend spaziali di qualità, a loro volta ben correlati con alcuni indicatori biologici.

  L'analisi delle tendenze indica nel fiume un generale aumento monte-valle dei valori di conducibilità e di nutrienti disciolti e particellati, comune a tutte le stagioni d'indagine. Non si evidenzia in alcun punto del fiume e in alcuna stagione un salto drastico delle caratteristiche integrate di qualità delle acque, a indicare che il corso d'acqua non riceve apporti quantitativamente significativi di acqua le cui caratteristiche sono tali da cambiarne lo stato complessivo.

  I due immissari più rilevanti (Mella, Chiese) apportano acque di qualità modesta, ma in punti del fiume dove le portate sono significative e presentano una discreta capacità di diluizione dei carichi.

  L'indice LIMeco si attesta su valori compresi tra sufficiente e elevato, mantenendo una certa stabilità degli andamenti stagionali nei tre distinti anni di ricerca: lo stato di qualità definito con l'indice LIMeco è migliore nel primo Segmento (tra stato ottimo e buono) e peggiora nel secondo e terzo Segmento (tra buono e sufficiente).

  Confrontando i risultati dell'indice LIMeco del terzo anno con quelli dei primi due anni si osserva che le condizioni del fiume tendono a migliorare nel periodo autunnale (DMV sperimentato 15%) e a peggiorare nella stagione estiva (DMV sperimentato 5%). Nel terzo anno si conferma un peggioramento dello stato di qualità da monte a valle.

  Complessivamente il periodo di studio è risultato omogeneo dal punto di vista delle condizioni meteo climatiche e idrologiche.

- La qualità e la quantità delle acque in transito nei tratti a monte e a valle delle captazioni d'acqua in tutti gli scenari testati appaiono consone alla vita degli organismi acquatici. I risultati delle analisi effettuate sui dati relativi al comparto biotico mettono però in evidenza un certo grado di destrutturazione delle comunità. Più in specifico:

- nel primo Segmento mancano alcuni elementi che potrebbero in linea teorica favorire la presenza di comunità ben strutturate e più ricche in specie, essendo le stesse soggette al disturbo originato dai cambiamenti morfologici e antropici. Di fatto i risultati sembrano evidenziare il forte influsso delle caratteristiche idromorfologiche tali da giustificare la suddivisione del primo Segmento in tratti bacinizzati e sottesi, caratterizzati da comunità biologiche ben distinte. Questi tratti presentano al loro interno diverse criticità quali scarsa varietà di microhabitat (intesi come combinazione di tipo di substrato e tipologia di flusso), limitata possibilità di movimenti laterali del fiume e conseguente colonizzazione di nuovi microhabitat, bassa eterogeneità idrologica (velocità della corrente e profondità), scarsa interazione con le fasce riparie (ove presenti). In questo contesto riuscire a discriminare gli effetti della gestione dei deflussi in alveo da quelli dovuti alle caratteristiche idromorfologiche del sistema risulta difficile, alla luce anche dei tempi di risposta delle comunità biologiche a cambiamenti graduali, e quindi non catastrofici, delle portate. Allo stato attuale delle cose, ad esempio, l'aumento delle portate non si traduce in un effettivo aumento delle superfici colonizzate a causa degli impedimenti strutturali dovuti alle condizioni fortemente artificializzate del tratto di fiume considerato.

- Nel secondo e terzo Segmento i valori di STAR/ISA sono generalmente molto elevati, spesso con metriche più elevate rispetto a quelle di riferimento elencate nel DM 260/2010 e i valori di IBMR sono generalmente elevati, con situazioni di classe media.

- Analogamente a quanto riscontrato per l'indice STAR/ISA, i valori dell'indice IBMR sono minori nel macrotratto 1, anche se è possibile rilevare la presenza di differenze rilevanti tra tratti bacinizzati e sottesi. Le caratteristiche riconducibili all'idrologia del sistema sembrano quindi influire anche sul valore dell'indice IBMR.
- Il macrotratto 2, assimilabile al tratto di fiume fortemente influenzato dagli ingressi di acqua di falda, presenta valori di IBMR generalmente elevati, in particolare nella stazione 31 con situazioni di classe media. Il terzo macrotratto presente in media valori dell'indice intermedi tra quelli del macrotratto 1 e 2.

7. CONSIDERAZIONI FINALI SUL LAVORO SVOLTO.

- La sperimentazione ha rappresentato una occasione unica per implementare un quadro conoscitivo carente, limitato a poche stazioni monitorate che non includevano segmenti importanti per le dinamiche fluviali. Oltre a 17 descrittori di tipo fisico chimico, sono stati monitorati in un contesto organico di indagine i macroinvertebrati, le macrofite, i pesci e le diatomee. Le attività sono state svolte seguendo protocolli ufficiali, implementati nella maggior parte dei casi da ulteriori approfondimenti; i risultati sono quindi confrontabili non solo con quelli pregressi ma soprattutto con quelli generati nell'ambito di altre sperimentazioni condotte in modo simile.

- Il database generato è stato analizzato in modo scrupoloso, ricorrendo alla indicizzazione dei risultati e a test statistici rigorosi. Nel prossimo futuro emergeranno ulteriori stadi di analisi dei dati, ad esempio incrociando i diversi campi di indagine con lo scopo di mettere in luce relazioni nascoste tra regime idrologico, processi interni al sistema fluviale e comunità biotiche.

- Il programma triennale di lavoro è stato rispettato. Le analisi di tipo quantitativo tra portate e qualità del sistema fluviale sono state possibili solo per i descrittori di tipo fisico-chimico in quanto in grado di rispondere nel breve termine alle modulazioni di portata. Queste analisi non hanno evidenziato, nei range di portate testate, variazioni significative della qualità dell'acqua all'aumentare o al diminuire delle portate. Le variazioni registrate infatti, si sono mantenute all'interno di range estremamente contenuti (ad esempio l'ossigeno disciolto o l'ammonio, entrambi correlati alle portate su valori lontani dalle soglie di ipossia o tossicità). Per quanto riguarda le componenti biologiche in senso lato la sperimentazione ha consentito di evidenziare pattern importanti legati al regime idrologico, ma lo sforzo effettuato non consente al momento di legare le comunità alle modulazioni del deflusso.
  Appaiono in questo senso utili alcune implementazioni dei metodi proposti che includano aspetti di tipo modellistico o analisi degli habitat teorici in relazione alle sezioni bagnate.

8. IDEE E PROPOSTE PER UN SECONDO TRIENNIO

- Occorre a nostro parere attuare quanto prima un confronto critico sul reale significato degli indicatori e sulla reale valenza del loro uso nei progetti di sperimentazione. Un acritico utilizzo rischia infatti di appiattire differenze o di non far emergere differenze apparentemente ovvie legate ai diversi scenari. Più in specifico, l'utilizzo di pochi indicatori per classificare la qualità delle acque sembra rischioso. Nel caso del fiume Oglio sublacuale l'inquinamento da nitrati sembra avere una origine ben precisa e non direttamente dipendente dal regime di portate. Le nostre analisi hanno individuato nel rapporto variabile su base stagionale fiume-falda un anello debole del sistema, con forte alimentazione estiva del sistema con acque di scarsa qualità. Un problema nel problema è il conflitto da chiarire tra le implicazioni (positive) di acque

fredde in alveo per alcune popolazioni ittiche e di macroinvertebrati e alcune essenze vegetali e quelle (negative) legate all'arricchimento da azoto.

- L'esperienza accumulata nel triennio permetterà di riformulare in parte la proposta originale di sperimentazione, in un direzione tale da mantenere invariata l'impalcatura e le modalità di monitoraggio, diradando le stazioni ridondanti per liberare energie e risorse da destinare alle nuove domande. Tra queste appare indispensabile potenziare il potere predittivo delle analisi sulla componente biologica nella direzione di individuare semplici relazioni causa effetto che leghino deflussi e comunità. In questo senso appare indispensabile allungare i periodi in cui le portate sono modulate e analizzare gli habitat. Per quanto riguarda i parametri fisico-chimici nuove indicazioni potrebbero emergere dall'estremizzazione verso il basso delle portate e da una analisi focalizzata al tratto in cui l'interazione fiume-falda è massima.

- Si dovrà inoltre affinare il lavoro fatto con sempre nuove informazioni per poter valutare meglio il rapporto variabile su base stagionale fiume-falda, anello debole del sistema, che comporta forte alimentazione estiva del sistema con acque di scarsa qualità, di chiarire il conflitto tra le implicazioni (positive) di acque fredde in alveo per alcune popolazioni ittiche, di macroinvertebrati e alcune essenze vegetali e quelle (negative) legate all'arricchimento da azoto, di attuare quanto prima un confronto critico sul reale significato degli indicatori e sulla reale valenza del loro uso nei progetti di sperimentazione. Un acritico utilizzo infatti rischia di appiattire differenze o di non far emergere differenze apparentemente ovvie legate ai diversi scenari.

SECONDA PARTE

PREMESSA

Questa relazione di sintesi del triennio di indagini realizzate nel fiume Oglio sublacuale intende superare l'approccio sito-specifico presentato nelle relazioni annuali 2009, 2010 e 2011 e condensare i risultati a livello di "mesoscala" (raggruppando le informazioni in 16 tratti fluviali) e "macroscala" (raggruppando le informazioni in 3 tratti fluviali). Intende inoltre affrontar criticamente pregi e limiti della proposta iniziale che ha generato il triennio di sperimentazione, al fine di introdurre nuovi approcci in risposta a nuove domande generate dal confronto tra il gruppo di ricerca e il tavolo tecnico.

Molto brevemente, crediamo di avere generato una mole di informazioni di estremo dettaglio su un fronte di analisi che include aspetti di idrogeomorfologia, chimica delle acque e componenti biotiche. Il database a disposizione è unico in questo senso poiché le analisi svolte sono state realizzate in stretta sinergia, con forte sovrapposizione spaziale e temporale tra i diversi gruppi e con metodiche collaudate e robuste. Probabilmente il dataset raccolto non consente al momento di trarre indicazioni definitive sulla migliore regola di rilascio nel corso del fiume Oglio. La mancanza di informazioni pregresse infatti ha fatto sì che gran parte dello sforzo del primo triennio di sperimentazione fosse indirizzato anzitutto a colmare lacune conoscitive. Attualmente, dopo aver elaborato i dati del triennio, crediamo di poggiare su una base molto solida, di avere esplorato in dettaglio l'intero corso del sistema fluviale e di conoscerne le maggiori criticità.

Nel range di portate testate nel triennio 2009-2011 i dati a nostra disposizione non evidenziano per alcuno dei parametri investigati (sia di natura fisico-chimica che biologica) situazioni drammatiche. Sono state evidenziate per lo più deboli correlazioni tra portate e indici sintetici di qualità ad indicare – e di questo siamo abbastanza certi- che il fiume Oglio sub lacuale rappresenta un esempio di forte alterazione del sistema ad elevata resilienza, in grado quindi di mantenere condizioni accettabili.

I dati a disposizione indicano piuttosto che gli interventi antropici passati (bacinizzazioni, derivazioni, realizzazioni di infrastrutture che alterano la continuità del sistema fluviale) tracciano le differenze macroscopiche, statisticamente significative soprattutto delle componenti biotiche. Le comunità sono infatti riconducibili a "tipologie" di segmenti caratterizzati da diverso idrodinamismo non tanto (o unicamente) lungo il classico gradiente monte valle quanto piuttosto lungo i numerosi gradienti artificiali (ad esempio a monte e valle di sbarramenti). Tale risultato, che potremmo definire tra i più interessanti di questa sperimentazione, è una base, una sorta di reference line su cui (ri)costruire le dinamiche fluviali associate alle modulazioni di portata, i cui effetti possono amplificare (o ridurre) quelli indotti dalle pressioni antropiche.

Un altro risultato estremamente interessante in ottica di prosecuzione delle indagini riguarda il complesso e delicato rapporto fiume-falda in un sistema che attraversa la fascia delle sorgive lombarde e che ha una intrinseca vulnerabilità ai nitrati in un areale a forte vocazione agrozootecnica. In questo caso si tratta di evidenze multiple, da confermare con indagini successive, ma sembra innegabile e statisticamente significativo che l'apporto di acqua di falda al fiume Oglio sub lacuale, in particolare nei mesi estivi, possa avere effetti marcati sul chimismo e sulle componenti biotiche, dai pesci ai macroinvertebrati passando per le macrofite e le diatomee. In questo senso la modulazione futura dei rilasci in anni che potranno avere marcate variazioni di precipitazioni invernali o estive potranno essere fortemente condizionanti aspetti chimico-fisici e biologici del sistema fluviale. E' da ricordare infatti che il parametro "nitrati" è centrale nel computo dell'indice ufficiale LIMeco e più in generale nelle passate e recenti direttive europee ed è un nutriente chiave per i produttori primari.

Appare confortante il non aver trovato relazioni significative tra basse portate e scadimento della qualità complessiva delle acque nel triennio anche se va ricordato che le condizioni idrologiche, nel periodo di sperimentazione, sono state caratterizzate da abbondanza di acqua. Rimangono da verificare questi risultati in un contesto di prolungata ed accentuata carenza idrica.

9. DEFINIZIONE E ANALISI DEI TRATTI FLUVIALI OMOGENEI

9.1 AZIONE CHIMICO - FISICA

L'analisi degli andamenti da monte verso valle dei parametri idrochimici raccolti nei tre anni di sperimentazione sono stati ampiamente discussi nella relazione annuale 2011. Il quadro complessivo dello stato di qualità del fiume Oglio sublacuale non è allarmante, ma questo risultato va associato anche alla condizione di abbondanza idrica che ha caratterizzato i tre anni di sperimentazione. Preso atto del contesto in cui è stata svolta la sperimentazione, durante gli scenari di sperimentazione del gruppo A il fiume Oglio sublacuale non ha presentato problemi di marcata eutrofizzazione, tutti i parametri analizzati non hanno superato i valori soglia che possono determinare problemi per la vita acquatica. Nell'intervallo di valori di portata in cui sono state effettuate le campagne di misura, nessun immissario o ingresso di acque nel fiume ha modificato la qualità delle acque fluviali e determinato l'abbassamento delle concentrazioni di ossigeno disciolto per la degradazione del carico organico immesso. Azoto nitrico e azoto totale, conducibilità, carbonio inorganico disciolto, fosforo totale e solidi sospesi totali sono stati gli unici parametri che hanno evidenziato un andamento crescente da monte verso valle. I primi quattro parametri hanno permesso di individuare la porzione del corso d'acqua (dal km ~130 al km ~171) che risulta influenzata dalle acque subsuperficiali, oltre ad indicare, insieme agli altri parametri citati, che le acque fluviali rispecchiano le attività antropiche che insistono sul bacino e quindi sono il recettore degli inquinanti generati dallo stesso bacino. Anche l'analisi di correlazione tra i parametri idrochimici e i valori di portata misurati in ogni stazione di monitoraggio hanno identificato una relazione positiva per l'azoto nitrico, il fosforo totale e il metano solo però nel periodo autunnale, invernale, primaverile quando è maggiore la quantità d'acqua in fiume.

In questo capitolo sono riportati i risultati analizzati a livello di mesoscala ovvero per i 16 tratti omogenei per la definizione del DMV. Ricordiamo che il primo segmento OGS-1 sarà analizzato non considerando i tratti sottesi alle centrali idroelettriche. Esso comprende le 6 centrali idroelettriche e quindi i 13 sotto-tratti generati dalle porzioni di fiume bacinizzate, a monte degli sbarramenti, e le porzioni sottese tra gli sbarramenti e la restituzione di acqua al fiume. I sottotratti sottesi (OGS-1-1B, OGS-1-2B, OGS-1-3B, OGS-1-4B, OGS-1-5B, OGS-1-7B) sono stati oggetto di sperimentazione di quattro scenari di deflusso minimo vitale e i risultati sono illustrati nel capitolo 1, paragrafo 1.2.2 della Relazione annuale 2011-2012.

La tabella 1.1 mostra l'indice LIMeco calcolato per tratto fluviale per ogni campagna di misura svolta nei tre anni. Lo stesso calcolo è stato effettuato per l'indice LIM, i dati non sono stati riportati in quanto lo stato di qualità è risultato essere buono in ogni tratto fluviale per tutte le campagne di misura. Escludendo la campagna autunnale n°2/2009, effettuata durante un evento di pioggia, i tratti da OGS_1 a OGS_9 (dalla diga di Sarnico fino a monte del fiume Strone) presentano uno stato di qualità elevato e buono per le restanti campagne di misura senza alcuna relazione tra stagione. Questi tratti sono caratterizzati dalla presenza di derivazioni irrigue che sembrano in ogni modo non influenzare lo stato di qualità di ottimo e buono anche durante la stagione estiva. Nella relazione annuale 2011-2012 è stata trattata l'influenza dei prelievi di acqua fluviale sulle stazioni a valle delle derivazioni considerando l'indice LIMeco e valori di portata misurati per ogni campagna di misura. Anche in questa sede è da notare per il tratto OGS_4, che parte dalla traversa del Naviglio Grande Pallavicino, lo stato di qualità sufficiente nelle campagne primavera n°8 ed estate n°9 rispetto alle altre campagne di misura, per le quali è stato definito lo stato di qualità elevato. Per analizzare questi risultati alla luce del deflusso minimo vitale, la figura 1.1 pone in relazione i valori medi di portata misurati nel tratto OGS_4 con il punteggio LIMeco calcolato dai parametri idrochimici misurati in tutte le campagne di misura. I due parametri non mostrano una relazione: lo stato del fiume è elevato sia a bassi che ad alti valori di por-

tata. Lo stato scadente di una campagna autunnale rispecchia lo stato generale del fiume in quanto il campionamento è stato svolto durante un evento di pioggia che ha convogliato in fiume anche acque di scolo non trattate dai colatori troppo pieni. In ogni modo nell'intervallo di portata tra il 5 e il 20 m^3 s^{-1}, il tratto OGS_4 può oscillare tra lo stato sufficiente e quello elevato a causa delle variazioni di azoto nitrico e fosforo totale. Dal tratto OGS_10 al tratto OGS_16 lo stato di qualità non segue una coerenza stagionale o tra scenario di sperimentazione, e per la maggiore parte delle campagne di misura risulta essere sufficiente. La campagna invernale n°7 va considerata a parte visto lo stato elevato e buono che caratterizza tutti i tratti fluviali. Questo risultato si pone in discontinuità rispetto alla campagna di misura n°2 e mostra come grandi quantità di acqua nel sistema fluviale, non provocate da forti eventi di pioggia che immettono inquinanti nel fiume, diluiscano il carico di nutrienti. Infine anche la campagna estiva n°1 e primaverile n°4 mostrano nel complesso uno stato di qualità buono negli ultimi tratti di fiume.

Essendo stati tre anni omogenei dal punto di vista delle condizioni meteo climatiche e idrologiche, i dati del LIMeco per tratto sono stati accorpati considerando le campagne ricadenti nella stessa stagione come repliche della stagione: i valori del LIMeco per tratto delle campagne della stessa stagione sono stati mediati ed è stato calcolato l'errore standard associato (tab. 1.2). I colori dell'indice LIMeco considerano anche gli errori standard derivati dal calcolo, quindi il colore a strisce verde e giallo ad esempio indica che lo stato di qualità per quel tratto e in quella stagione può oscillare tra buono e sufficiente. Osservando le quattro stagioni e come varia il LIMeco per tratto, la stagione invernale, seguita da quella estiva, mostra nel complesso stati di qualità migliori. Le stagioni autunnali e primaverili che sono generalmente più piovose rispecchiano quindi la funzione del fiume come corpo recettore degli inquinanti che gli giungono in modo puntiforme e diffuso. Considerando quindi gli scenari di sperimentazione non c'è una relazione tra quantità di acqua in fiume e stato di qualità secondo l'indice LIMeco. Il tratto OGS_1 e OGS_2 presenta concentrazioni dei nutrienti e ossigeno disciolto simili in tutte le stagioni e anche i sottotratti (dati non riportati) bacinizzati e sottesi non hanno stato di qualità differente. Da OGS_3 a OGS_9 lo stato di qualità della stagione estiva non risulta diverso dalle altre stagioni, l'influenza delle acque di falda che apporta elevate concentrazioni di nitrato non determina un abbassamento del LIMeco. I tratti da OGS_10 a OGS_16 appartenenti al segmento potamale del fiume e contraddistinti dai numerosi ingressi, inclusi gli affluenti principali Strone, Mella e Chiese risultano omogenei dal punto di vista chimico-fisico con qualità che varia tra scarso e buono. La figura 1.2 aiuta a comprendere come varia lo stato di qualità lungo il corso del fiume per tratto fluviale in relazione ai valori di portata. I grafici mostrano i valori medi stagionali per tratto, da notare che la scala dell'asse delle ordinate dei valori di portata estivi arriva a 80 m3 s-1, mentre per le altre stagioni la scala è nell'intervallo 0 – 270 m3 s-1. Analizzando i LIMeco per tratto in relazione ai diversi valori di portata delle stagioni, è evidente che lo stato di qualità è indipendente dalla quantità in transito nel sistema fluviale. In estate i valori di portata diminuiscono nei primi 30 km (da ~40 m3 s-1 a ~5 m3 s-1) a causa dei prelievi delle derivazioni irrigue, dal km ~145 circa tendono a crescere raggiungendo i ~60 m3 s-1 al Ponte di Barche a Torre d'Oglio. In autunno ed in inverno la portata erogata dalla diga di Sarnico è simile, ~60 m3 s-1, e rimane costante fino al km 150 per poi crescere e giungere alla confluenza in Po rispettivamente con valori di ~210 m3 s-1 e ~150 m3 s-1. La stagione primaverile tende ad avere valori di portata più simili alla stagione estiva, ma non essendoci ancora una forte richiesta irrigua, è minore il prelievo nei primi 30 km. Per tutte le stagioni i tratti OGS_1, OGS_2 e OGS_3 ricadenti nel primo macrotratto (analisi PCA) presentano stato elevato (da 0 a ~141 km); da OGS_4 a OGS_9, la zona caratterizzata dall'apporto di acque di falda nel periodo estivo (macrotratto 2 – PCA), la qualità oscilla tra elevato e buono (da ~141 a ~180 km); infine nel passaggio tra OGS_10 e OGS_11 lo stato diventa sufficiente e rimane costante per tutto il tratto potamale (macrotratto 3 - PCA). In allegato I sono riportati gli stessi risultati per stazione fluviale, i grafici sono suddivisi per stagione e nei tre macrotratti fluviali (da fig. I a fig. XVI-All. I).

Tab. 1.1 – Indice LIMeco calcolato per ognuno dei 16 tratti fluviali e per ogni campagna di misura del progetto.

Campagna di misura e scenario				n°1 estate 5%	n°2 autunno 15%	n°3 inverno 15%	n°4 primavera 15%	n°5 estate 5%	n°6 autunno 15%	n°7 inverno 15%	n°8 primavera 10%	n°9 estate 5%	n°10 autunno 15%	n°11 inverno 15%	n°12 primavera 10%
Tratto	Sottotratto	km inizio tratto	Stazione	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto	LIMeco per tratto
OGS_1	1A	110,9	FN01A	0,88	0,49	0,69	0,85	0,79	0,79	0,77	0,67	0,75	0,81	0,65	0,71
OGS_1	1B	112,1	STA03												
OGS_1	2A	113,3	FN04A												
OGS_1	2B	114,0	STB06												
OGS_1	3A	114,6	FN07A												
OGS_1	3B	115,7	STC08												
OGS_1	4A	117,8	FN09A												
OGS_1	4A		FN11A												
OGS_1	4B	119,7	STD12												
OGS_1	4B		STD14												
OGS_1	5A	122,7	FN15A												
OGS_1	5B	124,2	STE16												
OGS_1	5B		STE18												
OGS_1	6A	125,7	FN19A												
OGS_1	6A		FN21A												
OGS_1	7A	128,6	FN22A												
OGS_1	7A		FN24A												
OGS_1	7A		FN25A												
OGS_1	7B	131,6	STF26												
OGS_2		135,1	FN27A	0,75	0,63	0,88	1,00	0,88	1,00	0,88	0,63	0,69	1,00	0,73	0,75
OGS_3		136,4	FN28A	0,81	0,47	0,90	1,00	0,59	0,78	0,94	0,66	0,64	0,94	0,81	0,62
OGS_3			FN30A												
OGS_3			FS30B												
OGS_4		141,3	FS31A	0,78	0,31	0,81	0,88	0,66	0,69	0,81	0,44	0,47	0,81	0,70	0,59
OGS_4			FS32B												
OGS_5		143,6	FS33A	0,56	0,50	0,81	0,90	0,66	0,63	0,84	0,63	0,67	0,81	0,59	0,63
OGS_5			FS35A												
OGS_6		147,2	FS36A	0,75	0,39	0,81	0,88	0,78	0,69	0,73	0,63	0,74	0,73	0,53	0,58
OGS_6			FS38A												
OGS_6			FS38B												
OGS_6			FS39A												
OGS_7		154,5	FS39B	0,63	0,46	0,71	0,74	0,60	0,63	0,71	0,57	0,63	0,64	0,69	0,57
OGS_7			FS40A												
OGS_8		162,5	FS42A	0,75	0,32	0,64	0,72	0,63	0,78	0,69	0,59	0,66	0,68	0,74	0,48
OGS_8			FS43A												
OGS_8			FS44A												
OGS_9		175,2	FS45A	0,75	0,51	0,68	0,79	0,55	0,66	0,66	0,46	0,48	0,72	0,62	0,50
OGS_9			FS47A												
OGS_9			FS48A												
OGS_10		186,8	FS50A	0,51	0,48	0,73	0,63	0,49	0,48	0,65	0,35	0,46	0,66	0,50	0,41
OGS_10			FS52A												
OGS_10			FS52B												
OGS_10			FS52C												
OGS_10			FS53A												
OGS_10			FS53B												
OGS_10			FS53C												
OGS_11		203,0	FS55A	0,51	0,21	0,45	0,60	0,34	0,39	0,50	0,21	0,39	0,56	0,43	0,31
OGS_11			FS56A												
OGS_11			FS57A												
OGS_11			FS58A												
OGS_11			FS59A												
OGS_11			FS59B												
OGS_11			FS59S												
OGS_11			FS59T												
OGS_11			FS60A												
OGS_11			FS62A												
OGS_11			FS63A												
OGS_12		219,0	FS64A	0,44	0,34	0,28	0,53	0,34	0,32	0,66	0,31	0,28	0,53	0,44	0,41
OGS_13		227,3	FS67A	0,71	0,39	0,41	0,53	0,28	0,32	0,84	0,25	0,41	0,51	0,39	0,38
OGS_13			FS68A												
OGS_14		234,7	FS70A	0,63	0,34	0,41	0,53	0,41	0,25	1,00	0,34	0,41	0,53	0,34	0,47
OGS_14			FS71A												
OGS_14			FS72A												
OGS_14			FS73A												
OGS_14			FS74A												
OGS_14			FS74S												
OGS_15		240,5	FS74T	0,64	0,40	0,47	0,53	0,39	0,36	0,61	0,29	0,43	0,50	0,44	0,36
OGS_15			FS75A												
OGS_15			FS77A												
OGS_15			FS78A												
OGS_15			FS78B												
OGS_15			FS79A												
OGS_15			FS79B												
OGS_16		259,0	FS79C	0,59	0,25	0,41	0,41	0,41	0,34	1,00	0,22	0,41	0,47	0,47	0,34
OGS_16		266,7	FS80A												

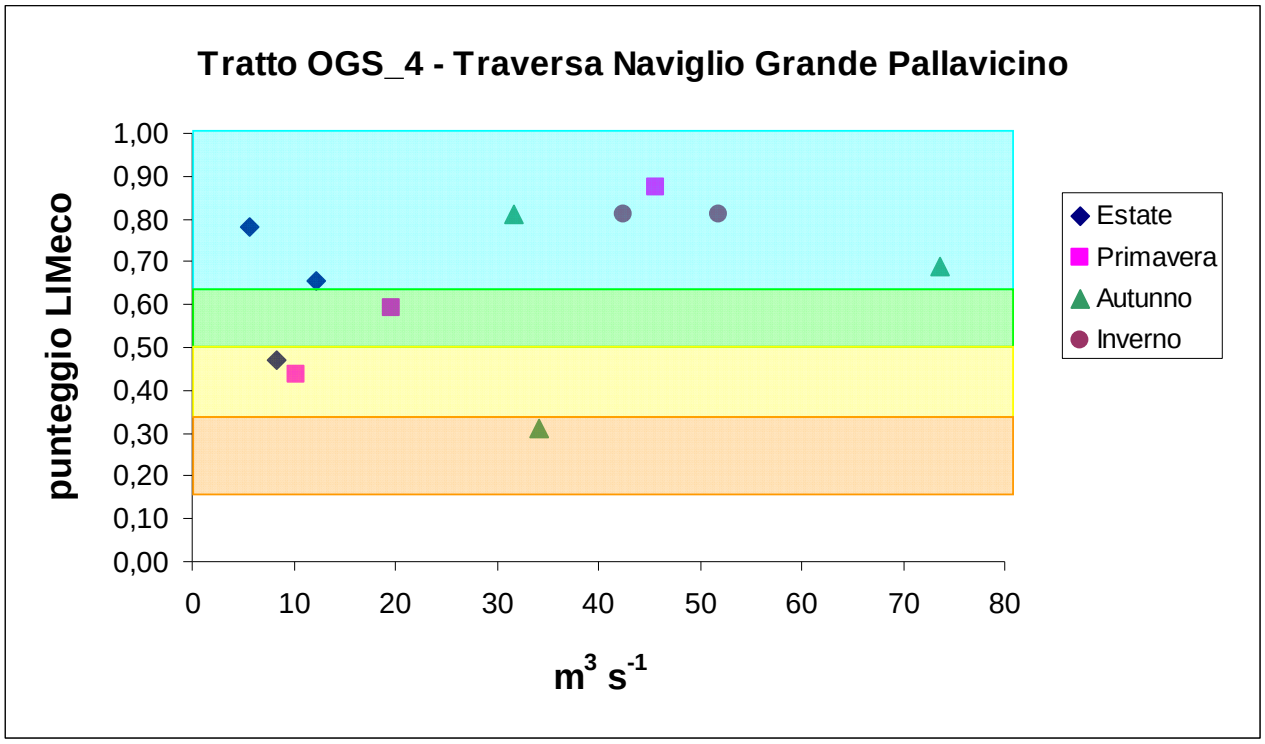

Fig 1.1 - Tratto OGS_4. Punteggio LIMeco versus valori medi di portata misurati durante le 12 campagne di misura del progetto raggruppate per stagione di campionamento. Il tratto OGS_4 inizia al km 143,6 con la traversa del Naviglio Grande Pallavicino e termina al km 147,2.

Tab. 1.2 – Indice LIMeco medio stagionale calcolato per ognuno dei 16 tratti fluviali.

Media stagionale e Scenario				estate 5%		autunno 15%		inverno 15%		primavera 10%	
				LIMeco per tratto		LIMeco per tratto		LIMeco per tratto		LIMeco per tratto	
Tratto	Sottotratto	km tratto	Stazione	media	errore standard	media	errore standard	media	errore standard	media	errore standard
OGS_1	1A	110,9	FN01A								
OGS_1	1B	112,1	STA03								
OGS_1	2A	113,3	FN04A								
OGS_1	2B	114,0	STB06								
OGS_1	3A	114,6	FN07A								
OGS_1	3B	115,7	STC08								
OGS_1	4A	117,8	FN09A								
OGS_1	4A		FN11A								
OGS_1	4B	119,7	STD12								
OGS_1	4B		STD14	0,81	0,04	0,75	0,11	0,78	0,05	0,77	0,08
OGS_1	5A	122,7	FN15A								
OGS_1	5B	124,2	STE16								
OGS_1	5B		STE18								
OGS_1	6A	125,7	FN19A								
OGS_1	6A		FN21A								
OGS_1	7A	128,6	FN22A								
OGS_1	7A		FN24A								
OGS_1	7A		FN25A								
OGS_1	7B	131,6	STF26								
OGS_2		135,1	FN27A	0,77	0,06	0,88	0,13	0,88	0,00	0,79	0,11
OGS_3		136,4	FN28A								
OGS_3			FN30A	0,68	0,07	0,73	0,14	0,88	0,03	0,76	0,12
OGS_3			FS30B								
OGS_4		141,3	FS31A	0,64	0,09	0,60	0,15	0,81	0,00	0,64	0,13
OGS_4			FS32B								
OGS_5		143,6	FS33A	0,64	0,04	0,65	0,09	0,75	0,08	0,72	0,09
OGS_5			FS35A								
OGS_6		147,2	FS36A								
OGS_6			FS38A	0,76	0,01	0,60	0,11	0,69	0,08	0,70	0,09
OGS_6			FS38B								
OGS_6			FS39A								
OGS_7		154,5	FS39B	0,62	0,01	0,57	0,06	0,52	0,19	0,63	0,06
OGS_7			FS40A								
OGS_8		162,5	FS42A								
OGS_8			FS43A	0,68	0,04	0,59	0,14	0,69	0,03	0,60	0,07
OGS_8			FS44A								
OGS_9		175,2	FS45A								
OGS_9			FS47A	0,60	0,08	0,63	0,06	0,65	0,02	0,58	0,10
OGS_9			FS48A								
OGS_10		186,8	FS50A								
OGS_10			FS52A								
OGS_10			FS52B								
OGS_10			FS52C	0,49	0,02	0,54	0,06	0,63	0,07	0,46	0,09
OGS_10			FS53A								
OGS_10			FS53B								
OGS_10			FS53C								
OGS_11		203,0	FS55A								
OGS_11			FS56A								
OGS_11			FS57A								
OGS_11			FS58A								
OGS_11			FS59A								
OGS_11			FS59B	0,42	0,05	0,39	0,10	0,46	0,02	0,37	0,12
OGS_11			FS59S								
OGS_11			FS59T								
OGS_11			FS60A								
OGS_11			FS62A								
OGS_11			FS63A								
OGS_12		219,0	FS64A	0,35	0,05	0,44	0,09	0,46	0,11	0,42	0,06
OGS_13		227,3	FS67A	0,47	0,13	0,45	0,06	0,54	0,15	0,39	0,08
OGS_13			FS68A								
OGS_14		234,7	FS70A								
OGS_14			FS71A								
OGS_14			FS72A	0,48	0,07	0,38	0,08	0,58	0,21	0,45	0,06
OGS_14			FS73A								
OGS_14			FS74A								
OGS_14			FS74S								
OGS_15		240,5	FS74T								
OGS_15			FS75A								
OGS_15			FS77A								
OGS_15			FS78A	0,47	0,06	0,42	0,04	0,51	0,06	0,39	0,07
OGS_15			FS78B								
OGS_15			FS79A								
OGS_15			FS79B								
OGS_16		259,0	FS79C	0,47	0,06	0,35	0,06	0,63	0,19	0,32	0,06
OGS_16		266,7	FS80A								

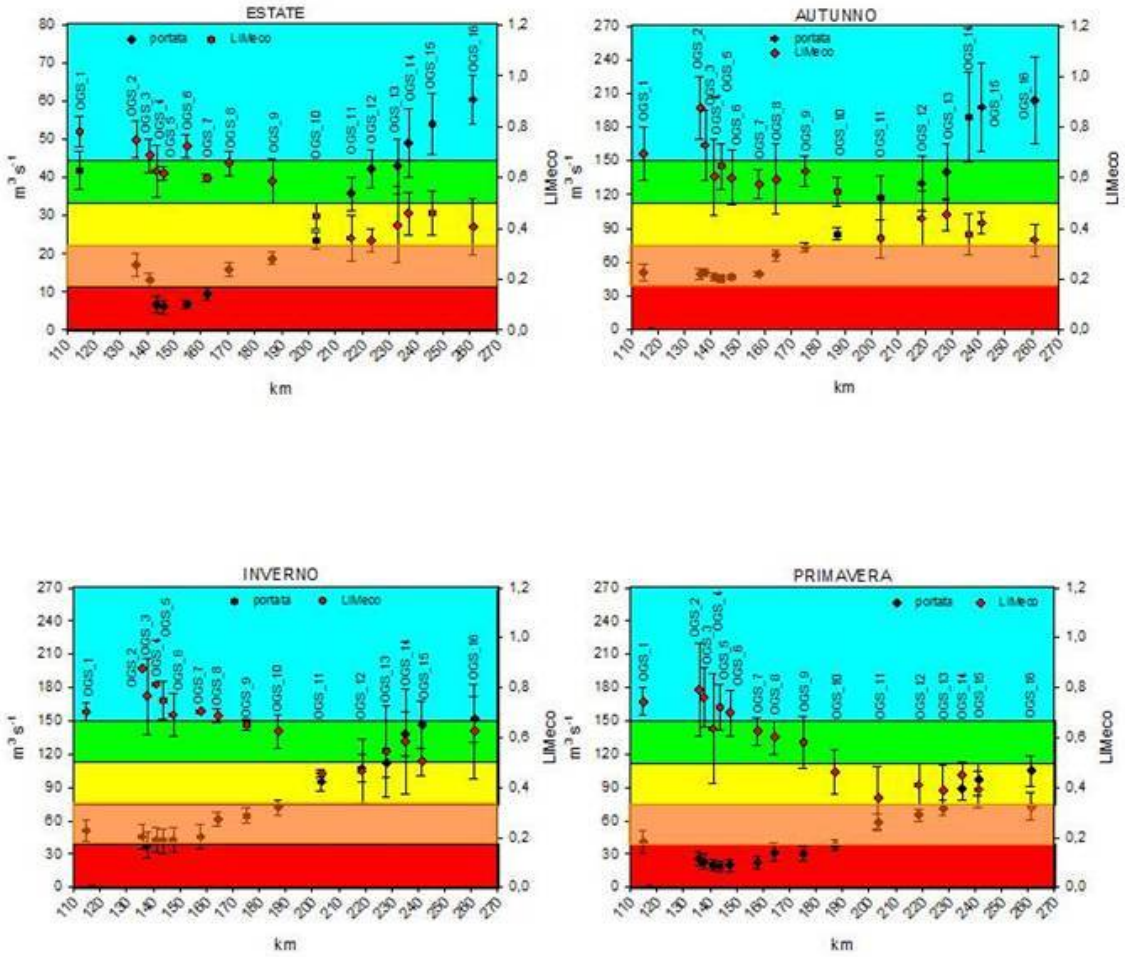

Fig. 1.2 – Media stagionale dell'indice LIMeco e dei valori di portata (± errore standard) calcolati per tratto fluviale e riportati lungo la chilometrica fluviale. Le bande colorate indicano gli intervalli di qualità dell'indice LIMeco (azzurro: elevato, verde: buono, giallo: sufficiente, arancio: scadente, rosso: cattivo).

9.2 AZIONE BIOLOGICA

9.2.1 MACROINVERTEBRATI

Nel triennio di sperimentazione sono stati analizzati 222 campioni e sono stati contati e classificati circa 180000 organismi appartenenti a 88 famiglie. Il campione meno numeroso è risultato quello relativo alla stazione FS63A replica B (autunno 2009) con 25 individui mentre il più numeroso quello relativo alla stazione FS68B replica B (estate 2011) con 4870 individui. I taxa più abbondanti sono risultati le famiglie Chironomidae (36896 individui), Gammaridae (36706 individui), Naididae (27575 individui) e Hydropsychidae (23035 individui). I taxa rinvenuti più di frequente sono risultati le famiglie Chironomidae (84% dei campioni), Gammaridae (73%), Hydropsychidae (70%) e Naididae (66%).

I valori dell'indice STAR-ICMi, per i campioni ottenuti con l'utilizzo del retino surber, e ISA, per i campioni ottenuti con i substrati artificiali, per tratto fluviale e come media stagionale per tratto sono presentati nelle tabelle II e III in allegato I. In figura 1.3 sono presentati i valori di STAR/ISA dei singoli tratti definiti nel presente progetto riassunti per anno.

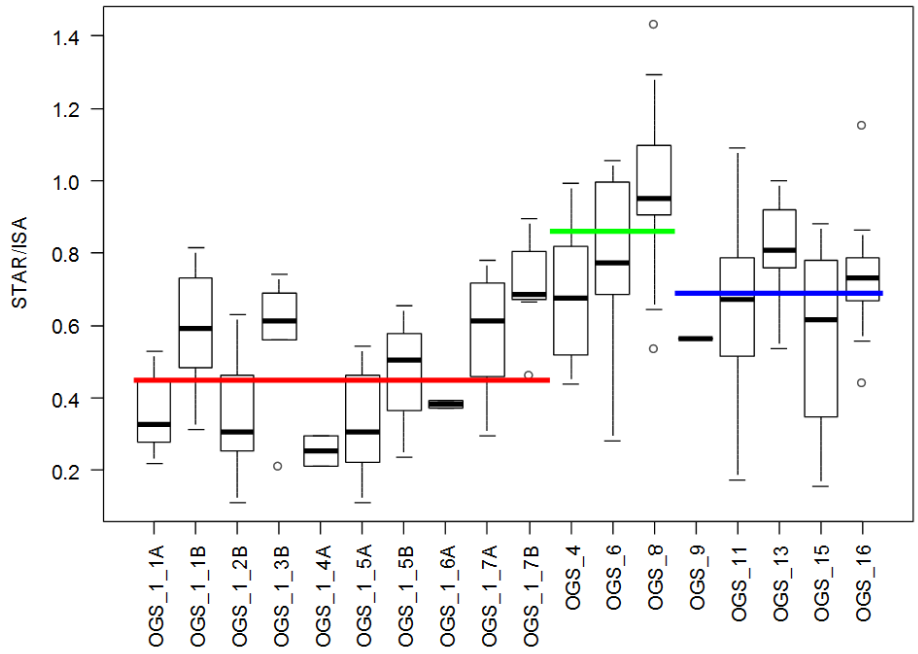

Fig. 1.3 - Boxplot in cui sono mostrati i valori di STAR/ISA per i tratti definiti in questo pro-getto. La linea rossa rappresenta la media del macrotratto 1, la linea verde quella del macro-tratto 2 e la linea blu quella del macrotratto 3.

Nella stessa figura 1.3 sono riportate le medie relative ai macrotratti individuati dall'analisi delle componenti principali e dallo studio idromorfologico. Generalmente il macrotratto 1 è quello che presenta valori minori dell'indice, anche se è possibile individuare una differenza tra quelli relativi ai tratti bacinizzati (OGS_1_1A, OGS_1_2B, OGS_1_4A, OGS_1_6A, OGS_1_6A) e quelli relativi alle stazioni sottese (OGS_1_1B, OGS_1_3B, OGS_1_5B, OGS_1_7A, OGS_1_7B). Nel fiume Oglio sublacuale le caratteristiche riconducibili all'idrologia del sistema sembrano quindi influire sul valore dell'indice. Il tratto OGS_1_2B è stato considerato bacinizzato in quanto il sito di campionamento si trova a monte di una briglia. Il tratto OGS_1_7A è stato considerato sotteso in quanto le caratteristiche del sito di campionamento si avvicinano a quelle di un ambiente di tipo ritrale. Il punto di campionamento presente nel tratto OGS_1_5B presenta caratteristiche compatibili con un certo grado di bacinizzazione, con lento

deflusso dell'acqua, che determinano valori minori dell'indice rispetto agli altri tratti sottesi. Il tratto OGS_1_7B è probabilmente influenzato dall'apporto di acqua di falda, come peraltro messo in evidenza dalle analisi chimico-fisiche delle acque e presenta, in media, valori di indice più elevati rispetto agli altri appartenenti al macrotratto 1, con uno stato ecologico variabile da sufficiente a buono. Il macrotratto 2, assimilabile al tratto di fiume fortemente influenzato dagli ingressi di acqua di falda, presenta valori di STAR/ISA generalmente molto elevati, in particolare nella stazione 44 con situazioni di classe elevata, spesso con valori delle metriche maggiori rispetto a quelli di riferimento elencate nel DM 260/2010. Il terzo macrotratto presenta in media valori dell'indice intermedi tra quelli del macrotratto 1 e 2. E' comunque da rilevare una marcata variabilità dei valori dell'indice all'interno di ogni stazione che rende difficile l'individuazione di pattern regolari e di relazioni con gli altri indici di qualità. Nella figura 1.4 sono riportati i valori annuali delle classi di qualità per singoli tratti definiti in questo progetto. I valori degli indici STAR-ICMi e ISA sono da considerarsi indicativi in quanto effettuati con il protocollo di campionamento, seppure consentito, con smistamento e identificazione in laboratorio. Lo smistamento in laboratorio, infatti, consente di stimare in modo più accurato le abbondanze dei singoli taxa e la presenza di taxa poco abbondanti. Per contro le metriche di riferimento sono state tarate con dati provenienti da stime di abbondanza e identificazione effettuate su campo. Nel caso specifico l’assenza di comunità di riferimento per i corpi idrici che si originano da grandi laghi e il conseguente utilizzo di valori di riferimento attribuibili a comunità generiche rappresenta già in origine una forte approssimazione.

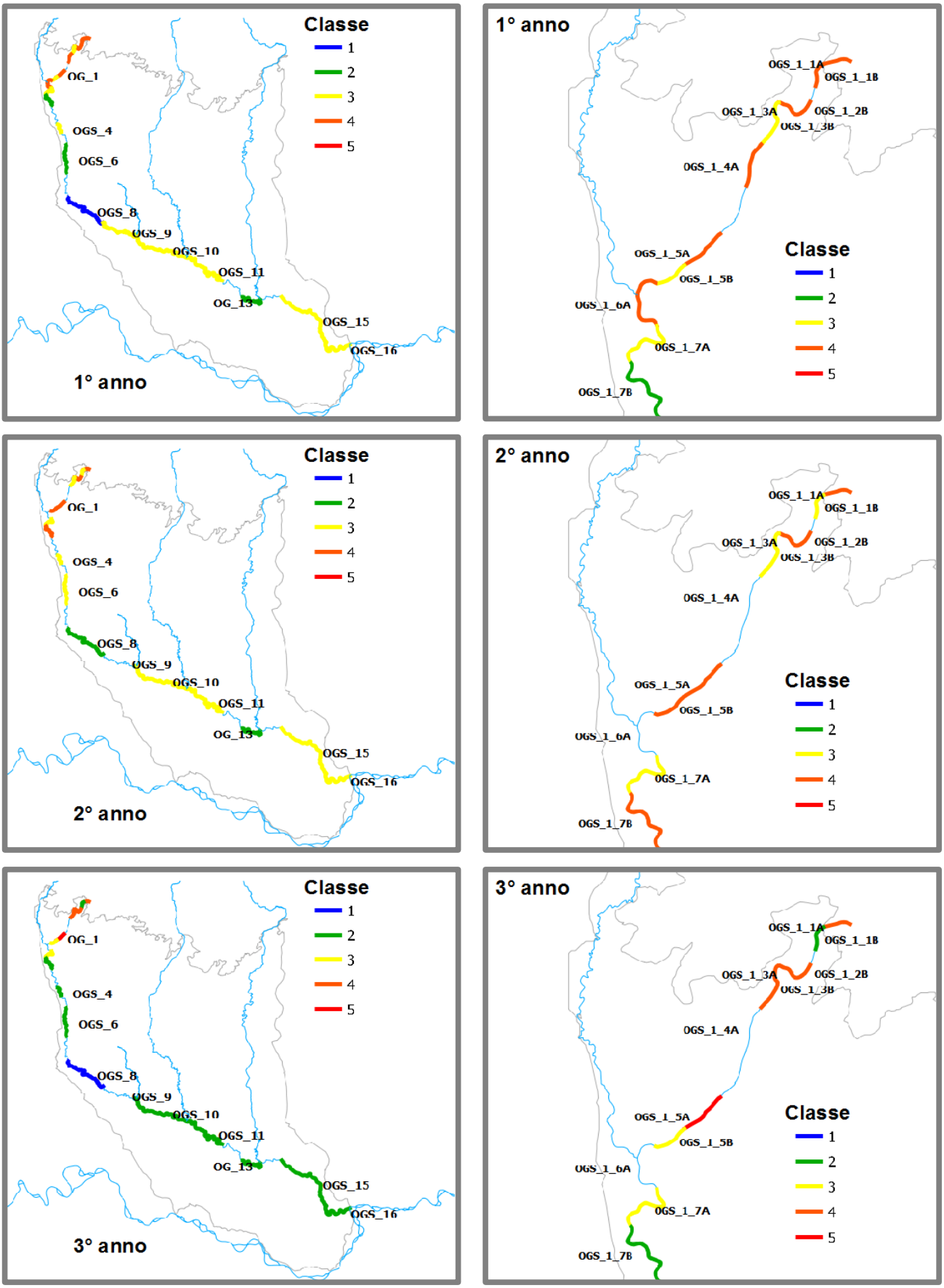

Fig. 1.4 - Rappresentazione grafica dello stato qualitativo medio nei tratti definiti in questo progetto nei diversi anni di sperimentazione. Le immagini di sinistra rappresentano l'intera asta fluviale mentre quelle di destra il solo macrotratto 1.

9.2.2 MACROFITE

Complessivamente i taxa individuati sono 68, di cui 44 spermatofite, 2 pteridofite (*Equisetum ramosissimum* subsp. *ramosissimum* e *Salvinia natans*), 3 briofite (*Fontinalis antipyretica*, *Hygrohypnum luridum* e *Amblystegium fluviatile*) e 19 alghe tra chlorophyceae e cyanophyta. Per molte di quest'ultime (le alghe verdi e verdazzurre) l'accuratezza della determinazione si è fermata a livello di genere, come richiesto dal protocollo d'indagine. Nel corso del campionamento 2011 è stato possibile confermare almeno due delle stazioni di *Thorea hispida* indicate in precedenza per l'Oglio sub lacuale (specie indicata erroneamente nelle relazioni precedenti come *T. violacea*) che rappresentano le prime segnalazioni accertate per il genere e la specie a scala nazionale.

Lungo il gradiente monte-valle del fiume Oglio sublacuale è stato possibile riconoscere tre diverse tipologie di comunità: due di esse sono caratterizzate da una chiara predominanza di forme macroalgali (cluster A e C), mentre una terza da piante vascolari (cluster B). Queste tre tipologie corrispondono ai tre macro-settori idrologici in cui è possibile ripartire il fiume. Il cluster A corrisponde ai settori sottesi, il cluster B a quelli bacinizzati e, infine, il cluster C al tratto propriamente potamale dell'Oglio. Analizzandone la struttura, i settori sottesi sono dominati 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*. Il cluster C presenta una netta dominanza di *Spirogyra* spp. e *Thorea hispida*; mentre 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.

I valori dell'indice IBMR per tratto fluviale per le 3 campagne di analisi e il valore medio stagionale per tratto fluviale sono presentati nella tabella IV allegato I. In figura 1.5 sono presentati i valori dell'indice dei singoli tratti definiti nel presente progetto riassunti per anno e come per l'analisi della comunità di macroinvertebrati sono riportate le medie relative ai macrotratti individuati dall'analisi delle componenti principali e dallo studio idromorfologico. Analogamente a quanto riscontrato per l'indice STAR-ICMi/ISA, i valori dell'indice IBMR sono minori nel macrotratto 1, anche se è possibile rilevare la presenza di differenze rilevanti tra tratti bacinizzati (OGS_1_1A, OGS_1_2B, OGS_1_4A, OGS_1_6A, OGS_1_6A) e sottesi (OGS_1_1B, OGS_1_3B, OGS_1_5B, OGS_1_7A, OGS_1_7B). Le caratteristiche riconducibili all'idrologia del sistema sembrano quindi influire anche sul valore dell'indice IBMR. Le considerazioni espresse nel paragrafo precedente sui macroinvertebrati per i tratti OGS_1_2B, OGS_1_7A, OGS_1_5B e OGS_1_7B sono analoghe anche in questa analisi. Il macrotratto 2, assimilabile al tratto di fiume fortemente influenzato dagli ingressi di acqua di falda, presenta valori di IBMR generalmente elevati, in particolare nella stazione 31 con situazioni di classe media (10.93). Il terzo macrotratto presenta in media valori dell'indice intermedi tra quelli dei macrotratti 1 e 2. Anche la marcata variabilità dei valori dell'indice IBMR all'interno di ogni stazione non permette di individuare pattern regolari e relazioni con gli altri indici di qualità.

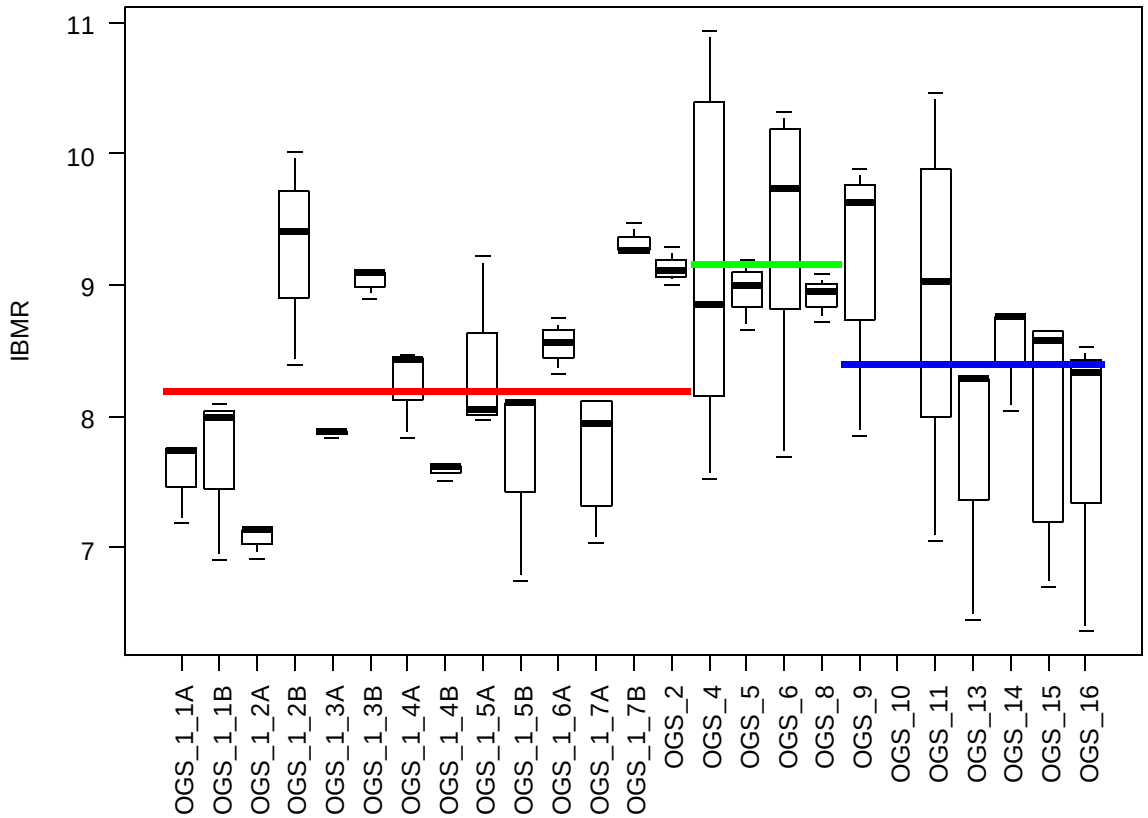

Fig. 1.5 - Boxplot in cui sono mostrati i valori di IBMR per i tratti definiti in questo progetto. La linea rossa rappresenta la media del macrotratto 1, la linea verde quella del macrotratto 2 e la linea blu quella del macrotratto 3.

9.2.3 DIATOMEE - CONFRONTO MONTE-VALLE E STAGIONALE

SITI 7-8-24-26

Dall'analisi dei dati si ricava che, in termini di biodiversità, non esistono differenze significative tra i siti a monte e valle delle centrali, pertanto non sembra che questo parametro possa essere utilizzato come indicatore di disturbo fisico e di variazione delle portate (Fig. 1.6).

Non esistono inoltre differenze statisticamente significative nel numero di taxa planctonici e bentonici a monte e a valle delle centrali. Inoltre non è stato possibile evidenziare differenze in termini di guilds ecologiche (low-profile; high-profile e taxa mobili) così come per le forme di crescita (taxa prostrati, eretti, peduncolati, mobili e non-ancorati).

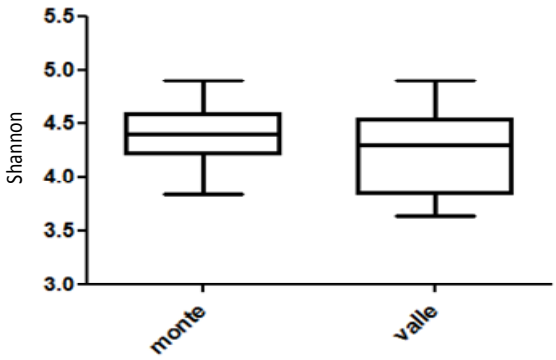

Fig. 1.6 - Box-plot dell'Indice di Shannon per le stazioni a monte (siti 7 e 24) e a valle (siti 8 e 26) delle centrali idroelettriche.

Sembra però esistere una forte influenza della componente stagionale che si riflette sulla composizione della comunità diatomica. Alcuni parametri sono significativamente diversi nei mesi estivi ed autunnali: temperatura, pH, ossigeno disciolto (mg/l), clorofilla a e azoto ammoniacale (test di Kruskal-Wallis; $p<0.05$), parametri che potrebbero influire significativamente sulla composizione delle comunità.

Come si può notare infine dall'analisi NMDS[3] i campioni autunnali si distribuiscono nella parte sinistra del grafico, senza distinzioni tra monte e valle mentre quelli estivi nella parte destra (fig. 1.7).

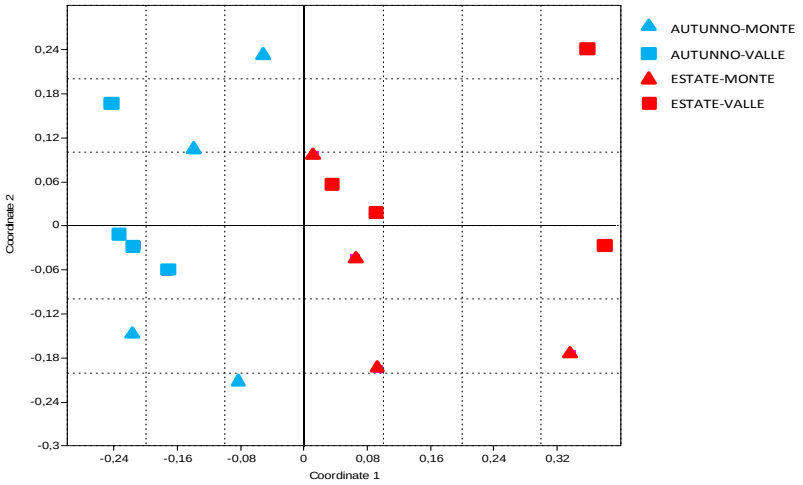

Fig.1.7 - Analisi NMDS delle comunità diatomiche rinvenute nei siti a monte (siti 7 e 24) e a valle (siti 8 e 26) delle centrali idroelettriche durante le quattro campagne di misura n°5/10 (estate), n°6/10 (autunno), n°9/11(estate) e n°10/11 (autunno).

SITI 44,53,59,63,80

Anche nel caso delle stazioni di monitoraggio ARPA sembra esistere una forte componente stagionale. A parte una piccola area di sovrapposizione, si nota nel grafico, una netta distinzione tra la composizione dei campioni autunnali e quelli estivi (fig. 1.8).

[3] NMDS: Tecnica di ordinamento multivariata basata sulla composizione delle comunità: campioni con composizione simile si raggrupperanno insieme nel grafico.

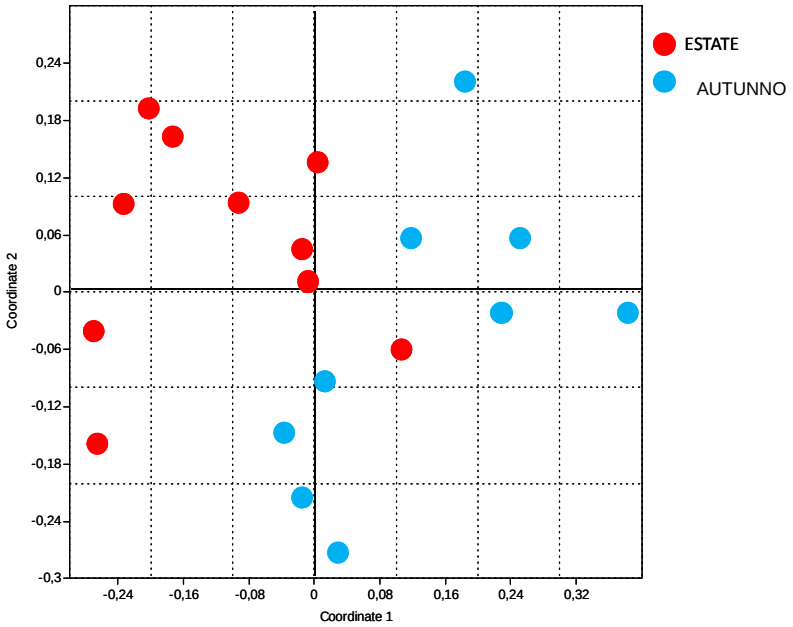

Fig. 1.8 - Analisi NMDS delle comunità diatomiche rinvenute nei siti coincidenti con le stazioni ARPA durante le quattro campagne di misura n°5/10 (estate), n°6/10 (autunno), n°9/11(estate) e n°10/11 (autunno).

9.3 CONCLUSIONI

Le tabelle 1.3 – 1.6 riassumono i valori medi stagionali degli indici di qualità delle acque e dei descrittori biologici (DM 260/2010) per i 16 tratti fluviali definiti al paragrafo 1.1. A questi sono associati i corrispettivi valori medi stagionali di portata per tratto e quindi la % di DMV rispetto alla portata media naturale per tratto fluviale[4]. Come premesso, in questo capitolo non sono analizzati i tratti sottesi alle centrali idroelettriche e quindi il tratto OGS_1 viene esaminato non considerando i 6 sottotratti sottesi alle centrali. Segue la sintesi per tratto. E' stato deciso di utilizzare il criterio di aggregazione dei diversi indici "*One Out-All Out*" (*OO-AO*) in conformità a quanto stabilito dalla Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60 (All. V, 1.4.2.i), ovvero considerati gli attributi biologici e quelli chimico-fisici, l'attributo che si presenta in condizioni peggiori determina la classificazione globale. Si rimanda al lavoro di Nardini et al. (2008) per approfondimenti e critiche in merito. E' da ricordare inoltre che al fine di rispondere agli obiettivi del progetto si è svolta un'analisi stagionale degli indici, indipendentemente dalla modalità di lettura e dalla metodica di analisi degli indici dettata dal DM 260/2010. Per valutare la relazione tra i punteggi di qualità espressi dai diversi macrodescrittori (LIMeco, IBMR, STAR-ICMi/ISA e ICMi) è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson. Quest'ultimo non evidenzia correlazioni significative tra gli indici impiegati ($r < 0.40$), probabilmente a causa del fatto che ogni descrittore risponde in modo diverso alle differenti pressioni ambientali e/o antropiche che insistono sul fiume Oglio sublacuale. Questo risultato giustifica l'approccio "*One Out-All Out*" utilizzato per la definizione dello stato di qualità nei diversi tratti studiati.

[4] La portata media naturale per tratto fluviale è stata calcolata a partire dalle portate medie naturali di ogni stazione fluviale ricadente nel tratto. Quest'ultime sono state desunte tramite il metodo di interpolazione utilizzando i valori di portata media naturale nelle sezioni a valle delle derivazioni irrigue proposte dal metodo PTUA (Programma di Tutela e Uso delle Acque) della Regione Lombardia per lo scenario del 5% e i valori di portata media naturale nelle sezioni a valle delle derivazioni irrigue derivanti dalla serie storica del Consorzio dell'Oglio "metodo del Consorzio" per gli scenari del 7.5, 10 e 15% (Specifiche integrative al progetto – Protocollo per la sperimentazione del rilascio del DMV nel fiume Oglio Sublacuale, 30 giugno 2009).

TRATTI FLUVIALI del PRIMO SEGMENTO

Tratto OGS_1 (km 110,9 – km 135,1) dalla diga di Sarnico a Calcio presso la traversa del Naviglio Civico di Cremona e della Roggia Antegnata.

Nelle porzioni di fiume del tratto OGS_1 non sottese ai prelievi delle centrali idroelettriche i valori di portata variano annualmente da ~41±10 $m^3 s^{-1}$ (estate e primavera) a ~51±9 $m^3 s^{-1}$ (autunno e inverno) e le percentuali di DMV ricadono nell'intervallo tra 69 e 99% indicando che la quantità media in transito si avvicina alla portata media naturale in tutti i sottotratti contraddistinti dalla lettera A (OGS_1_1A, OGS_1_2A, etc.). Considerando nell'insieme le quattro stagioni, l'indice STAR-ICMi – ISA classifica il tratto fluviale nello stato di sufficiente in estate e nello stato di scadente durante le restanti stagioni, nonostante l'indice LIMeco, per tutte le stagioni, e l'indice ICMi, per estate e autunno, diano indicazione di uno stato elevato di qualità del tratto esaminato. Indipendentemente dalla quantità di acqua in transito in alveo, lo stato di qualità definito secondo gli indici del DM 260/2010 e il criterio "*OO-OA*" è scadente. Per la trattazione dei sottotratti a valle delle derivazioni irrigue si rimanda alla Relazione annuale 2011-2012: nel periodo estivo e in parte primaverile (periodo irriguo) la %DMV è naturalmente superiore al 10% in tutti i sottotratti e lo stato di qualità definito dall'indice LIMeco è elevato nella maggiore parte dei casi.

Tratto OGS_2 (km 135,1 – km 136,4) da Calcio presso la traversa del Naviglio Civico di Cremona e della Roggia Antegnata a Urago d'Oglio presso la traversa di Roggia Molina.

La stagione estiva presenta valori di portata paragonabili a circa il ~26% di DMV (~17±3 $m^3 s^{-1}$) a causa dei consistenti prelievi di acqua per uso irriguo delle derivazioni Naviglio Civico di Cremona e della Roggia Antegnata (rispettivamente i valori di portata concessa sono 10,45 $m^3 s^{-1}$ e 2,28 $m^3 s^{-1}$). Anche in questo caso è l'indice STAR ICMi –ISA seguito dall'IBMR a classificare il tratto fluviale in stato di qualità sufficiente, nonstante LIMeco e ICMi indichino sempre uno stato elevato del sistema. Dal confronto dei risultati della stagione estiva, che è la più critica dal punto di vista dei deflussi in alveo proprio a causa dei prelievi di natura irrigua, con quelli delle restanti stagioni si evidenzia che lo STAR ICMi classifica il tratto fluviale come sufficiente anche in autunno e in inverno rispettivamente con l'~85% e il ~79% di deflusso minimo vitale in alveo. La comunità dei macroinvertebrati in primavera determina invece un valore di STAR ICMi ricadente nello stato di qualità scadente in corrispondenza di valori di portata di ~26±6 $m^3 s^{-1}$ o 45% di DMV.

Tratto OGS_3 (km 136,4 – km 141,3) da Urago d'Oglio presso la traversa di Roggia Molina a Pumenengo presso la traversa del Naviglio Grande Pallavicino.

In estate nonostante i continui prelievi di acqua per uso irriguo (Roggia Molina portata concessa 1,37 $m^3 s^{-1}$) la qualità del sistema è buona ed è determinata sia dalla comunità di macroinvertebrati che da quella delle macrofite per un deflusso in alveo pari a circa il 20% della portata media naturale. Lo stesso stato di qualità buono è stato però riscontrato in autunno con una % di DMV di circa 85% grazie all'indice STAR ICMI - ISA e ICMi. Le restanti stagioni indicano come lo stato di qualità diminuisca a sufficiente in inverno (STAR ICMI - ISA) e a scadente in primavera (STAR ICMI - ISA) con valori di portata medi maggiori, rispettivamente ~50±4 $m^3 s^{-1}$ (% di DMV del tratto 64%) e ~24±7 $m^3 s^{-1}$ (% di DMV del tratto 39%). Anche per questo tratto fluviale non è possibile definire una percentuale di DMV in relazione alle indicazioni dettate dagli indici di qualità.

TRATTI FLUVIALI DEL SECONDO SEGMENTO

Tratto OGS_4 (km 141,3 – km 143,6) da Pumenengo presso la traversa del Naviglio Grande Pallavicino a Pumemengo presso la traversa del Cavo Molinara.

A valle della traversa del Naviglio Grande Pallavicina il valore medio di % di DMV è risultato maggiore rispetto a quanto stabilito dal progetto per il mese di sperimentazione: in estate invece del 5% è risultato ~10%, in autunno ed in inverno al posto del 15% il DMV medio è stato rispettivamente di ~75 e ~70% ed infine in primavera invece del 10% è stato del ~33%. Tale risultato mette in evidenza come il sistema fluviale sia variabile e difficile da gestire, oltre che a confermare il periodo di abbondanza idrica in cui è stata svolta la sperimentazione. Va inoltre ricordato che secondo l'analisi della PCA e dell'nMDS da questo tratto inizia a manifestarsi l'influenza delle acque di risorgive o di falda sulle acque fluviali con ripercussioni sulla vita acquatica del sistema. In estate, la portata fluviale in questo tratto risulta la conseguenza dei numerosi prelievi irrigui che hanno interessato il corso del fiume nei sui primi 30km $^{-1}$. In questo tratto l'indice LIMeco evidenzia l'aumento di concentrazione del nitrato a causa dell'ingresso di acque di falda inquinate e stabilisce lo stato di qualità buono in estate quando la falda interagisce con le acque del fiume, in autunno perché probabilmente c'è ancora uno strascico di influenza e in primavera quando ricomincia la risalita della falda. In ogni modo nella stagione estiva lo stato di qualità del tratto è buono ed è indicato in modo concorde da LIMeco, STAR-ICMi- ISA e IBMR. Anche in autunno LIMeco e ICMi definiscono uno stato buono del sistema in corrispondenza di valori medi di portata e %DMV di ~46±3 $m^3 s^{-1}$ e 76%, nonostante l'indice STAR ICMi- ISA dia indicazioni di elevata qualità. Lo STAR-ICMi-MTS è invece determinante per la stagione invernale e quella primaverile, rispettivamente stato sufficiente (~43±11 $m^3 s^{-1}$ e 70%) e stato scadente (~20±5 $m^3 s^{-1}$ e 33%). Dalla tabella 1.3 riguardante la stagione estiva, si evince che questo tratto risulta essere il tratto critico per quanto riguarda i deflussi in alveo e di conseguenza anche il tratto successivo OGS_5. I valori degli indici di qualità per tratto di tabella 1.3 e la figura 1.1 mostrano che non sono state riscontrate correlazioni tra i valori di portata misurati e lo stato di qualità secondo gli indici proposti dal DM 260/2010. Analizzando anche i valori dell'indice LIMeco per stazione di campionamento (dati riportati nelle relazioni annuali) non è stato registrato un trend monte valle dello stato di qualità in relazione ai deflussi in alveo dalla stazione a monte (FS30A) della traversa del Naviglio Grande Pallavicino, alla stazione a valle della traversa (FS31A) e infine a quella successiva (FS33A).

Tratto OGS_5 (km 143,6 – km 147,2) da Pumemengo presso la traversa del Cavo Molinara a Torre Pallavicina presso la traversa del Cavo di suppeditazione.

Anche in questo tratto fluviale LIMeco, STAR ICMI- ISA e IBMR stabiliscono in modo concorde lo stato di qualità del sistema in buono nella stagione estiva in concomitanza di un deflusso di circa 6 $m^3 s^{-1}$ (9 % DMV) e nella stagione autunnale per un deflusso di circa 45 $m^3 s^{-1}$ e 73% di DMV. E' da tenere presente che in estate e in parte in primavera il Cavo Molinara preleva per concessione circa 4,6 $m^3 s^{-1}$. Lo stato buono del sistema perdura anche in inverno con portata simili all'autunno (circa 42 $m^3 s^{-1}$) ed è determinato dall'indice STAR ICMI – ISA. La stagione primaverile presenta il peggiore stato di qualità, sufficiente (STAR ICMi- ISA), e valori di portata minori di circa 19 $m^3 s^{-1}$ (31% di DMV del tratto), che sono in ogni modo superiori a quelli estivi. Anche in questo caso, quindi non c'è una correlazione positiva tra stato di qualità e portata in fiume.

Tratto OGS_6 (km 147,2 – km 154,4) da Torre Pallavicina presso la traversa del Cavo di suppeditazione a Soncino presso la traversa del ponte Soncino-Orzinuovi.

In estate e in primavera, per valori di portata rispettivamente di circa 7 (10% DMV) e di circa 19 $m^3 s^{-1}$ (31%DMV), lo stato di qualità determinato dall'indice dei macroinvertebrati è sufficiente, nonostante gli altri indici diano riscontro elevato. In queste stagioni il Cavo di suppeditazione e la Roggia Conta di Barco contribuiscono a diminuire il deflusso in alveo rispettivamente per 4,6 $m^3 s^{-1}$ e per 0,75 $m^3 s^{-1}$. Per questo tratto si nota un trend all'aumento dello stato di qualità con l'aumentare della portata: in autunno ed in inverno lo stato di qualità è buono (LIMeco, STAR ICMi- ISA e ICMi) ed elevato (LIMeco e STAR ICMi- ISA) per valori di portata rispettivamente di 46 e 42 $m^3 s^{-1}$.

Tratto OGS_7 (km 154,4 – km 162,5) da Soncino presso la traversa del ponte Soncino-Orzinuovi a Bompensiero.

In questo tratto la % di DMV è variata da 33% (primavera) a 68% (inverno) fino a 73% (autunno) e lo stato di qualità del sistema in questo intervallo è risultato buono. In estate invece in corrispondenza di circa 9 $m^3 s^{-1}$ di acqua in transito nel sistema (13% DMV media del tratto) lo stato di qualità è stato sufficiente e determinato dallo STAR ICMi- ISA.

TRATTI FLUVIALI del TERZO SEGMENTO

Tratto OGS_8 (km 162,5 – km 175,2) da Bompensiero al ponte Bordolano-Quinzano d'Oglio.

Lo STAR ICMi-ISA determina lo stato di qualità sufficiente del tratto OG_8 nel periodo estivo caratterizzato da valori medi di portata di circa 16 $m^3 s^{-1}$ (21% del DMV medio del tratto), nonostante LIMeco e ICMi definiscano una condizione elevata del sistema. Nelle restanti stagioni lo stesso indice suggerisce uno stato elevato del sistema, ma solo nella stagione invernale LIMeco e STAR ICMi- ISA sono concordi nel classificare il tratto in stato di qualità elevato con valori medi di portata in alveo di circa 61 $m^3 s^{-1}$. In autunno è l'indice LIMeco e l'indice ICMi ad abbassare lo stato di qualità a buono nonostante la portata media nel tratto sia maggiore e di circa 66 $m^3 s^{-1}$. In primavera, infine, sempre l'indice LIMeco classifica il tratto come buono ed in questo caso la % media di DMV del tratto è stata di circa 44% (32 $m^3 s^{-1}$).

Tratto OGS_9 (km 175,2 – km 186,8) dal ponte Bordolano-Quinzano d'Oglio a Pontevico a valle della confluenza del fiume Strone.

Va ricordato che questo tratto fluviale si distingue dal precedente per la maggiore componente sabbiosa che caratterizza il substrato dell'alveo rispetto alla componente ghiaiosa. Gli indici di qualità calcolati per il tratto durante le stagioni con maggiore quantità di acqua in transito, tra il 39% e il 94% media di DMV del tratto (30-73 $m^3 s^{-1}$), indicano tutti uno stato buono. Sempre per la stagione estiva in coincidenza con valori medi di portata minori circa 19 $m^3 s^{-1}$ (23%) è lo STAR ICMi – ISA che classifica il tratto come sufficiente.

Tratto OGS_10 (km 186,8 – km 203) da Pontevico a valle della confluenza del fiume Strone a Gabbioneta-Binanuova a valle della confluenza del fiume Mella.

In estate ed in primavera il tratto è classificato dall'indice LIMeco nello stato di sufficiente per valori medi di portata rispettivamente di 23 $m^3 s^{-1}$ (26%DMV) e 38 $m^3 s^{-1}$ (45%DMV). In autunno ed in inverno in corrispondenza di valori medi di portata maggiori (rispettivamente 85 $m^3 s^{-1}$ e 72 $m^3 s^{-1}$), lo stato di qualità del tratto è buono ed è determinato in modo concorde dall'indice LIMeco e dallo STAR ICMI- ISA.

Per i tratti fluviali restanti

- Tratto OGS_11 (km 203 – km 219) da Gabbioneta-Binanuova a valle della confluenza del fiume Mella a Isola Dovarese presso la traversa del ponte. Derivazione irrigua Consorzio Ostianese nuova (portata concessa 1,06 $m^3 s^{-1}$) ed ingresso del fiume Mella;
- Tratto OGS_12 (km 219 – km 227,2) da Isola Dovarese presso la traversa del ponte a Canneto sull'Oglio presso il ponte Canneto-Piadena;
- Tratto OGS_13 (km 227,8 – km 234,7) da Canneto sull'Oglio presso il ponte Canneto-Piadena a Calvatone a valle della confluenza del fiume Chiese. Derivazione irrigua Impianto S. Maria di Calvatone (portata concessa 7 $m^3 s^{-1}$);

- Tratto OGS_14 (km 234,7 – km 240,7) da Calvatone a valle della confluenza del fiume Chiese a Mosio. Ingresso del fiume Chiese;
- Tratto OGS_15 (km 240,7 – km 259) da Mosio a Gazzuolo. Derivazioni irrigue Sollevamento San Michele in bosco (portata concessa 0,8 m^3 s^{-1}) e Impianto Maldinaro (portata concessa 0,8 m^3 s^{-1});
- Tratto OGS_16 (km 259 – km 267,1) da Gazzuolo alla confluenza del fiume Oglio nel fiume Po. Derivazione irrigua Sollevamento Torre d'Oglio (portata concessa 0,8 m^3 s^{-1});

è l'indice LIMeco a determinare lo stato di qualità del sistema che risulta sufficiente per tutti i tratti in estate (in accordo con l'indice ICMi), in autunno e in primavera (in accordo con l'indice STAR-ICMi – ISA), ad eccezione del tratto OG_16 definito di qualità scadente in primavera. In inverno, invece, lo stato di qualità per la maggior parte dei tratti è buono, solo OGS_11 e OGS_12 hanno qualità sufficiente così come OGS_15, questa volta determinato dallo STAR ICMi- ISA. In generale, i valori medi di portata in questi tratti sono simili, in estate sono compresi tra 40 e 60 m^3 s^{-1} (35-40%DMV), in autunno tra 120 e 200 m^3 s^{-1} (125-160%), in inverno tra 95 e 150 m^3 s^{-1} (99-116%) e in primavera tra 60 e 100 m^3 s^{-1} (63-75%). In conclusione lo stato del fiume al variare dei deflussi in alveo risulta per l'80% sufficiente, non indicando una relazione con i valori di portata. L'indice LIMeco non evidenzia l'ingresso dei principali affluenti del fiume Oglio, il fiume Strone, il fiume Mella e il fiume Chiese, ma risulta essere espressione della condizione generale delle acque che arrivano dal bacino in modo puntiforme e diffuso.

Tab. 1. 3 - Valori medi delle tre campagne estive degli indici di qualità, delle misure di portata e della %DMV per tratto fluviale.

Media campagne estive, scenario 5%				Indici di qualità per tratto fluviale				Portata per tratto		
Tratto	km inizio tratto	km fine tratto	Stazioni	LIMeco	STAR ICMi – MTS	IBMR	ICMi	Portata (m^3 s^{-1}) media ± err.st		% DMV
OGS_1	110,9	135,1	FN01A -STF26	0,81	0,51	0,77	0,87	41,86	5	69
OGS_2	135,1	136,4	FN27A	0,77	0,64	0,87	0,94	17,01	3	26
OGS_3	136,4	141,3	FN28A - FS30B	0,68	0,71	0,87	0,94	13,15	2	20
OGS_4	141,3	143,6	FS31A - FS32B	0,64	0,77	0,87	0,94	6,81	2	10
OGS_5	143,6	147,2	FS33A - FS35A	0,64	0,74	0,85	0,94	6,13	2	9
OGS_6	147,2	154,5	FS36A - FS39A	0,76	0,71	0,90	0,94	6,75	1	10
OGS_7	154,5	162,5	FS39B - FS40A	0,62	0,62	0,87	0,94	9,51	2	13
OGS_8	162,5	175,2	FS42A - FS44A	0,68	0,53	0,85	1,01	15,96	2	21
OGS_9	175,2	186,8	FS45A - FS48A	0,60	0,66	0,87	0,86	18,87	2	23
OGS_10	186,8	203,0	FS50A - FS53C	0,49	0,79	0,86	0,71	23,50	2	26
OGS_11	203,0	219,0	FS55A - FS63A	0,42	0,62	0,84	0,64	35,87	4	36
OGS_12	219,0	227,3	FS64A	0,35	0,75	0,79	0,63	42,25	5	40
OGS_13	227,3	234,7	FS67A - FS68A	0,47	0,88	0,73	0,63	42,96	7	38
OGS_14	234,7	240,5	FS70A - FS74S	0,48	0,74	0,81	0,63	49,13	9	38
OGS_15	240,5	259,0	FS74T -FS79B	0,47	0,60	0,77	0,63	54,10	8	35
OGS_16	259,0	266,7	FS79C- FS80A	0,47	0,76	0,74	0,62	60,47	6	38

Tab. 1. 4 - Valori medi delle tre campagne autunnali degli indici di qualità, delle misure di portata e della %DMV per tratto fluviale.

Media campagne autunnale, scenario 15%				Indici di qualità per tratto fluviale				Portata per tratto		
Tratto	km inizio tratto	km fine tratto	Stazioni	LIMeco	STAR ICMi – MTS	IBMR	ICMi	Portata ($m^3 s^{-1}$) media ± err.st		% DMV
OGS_1	110,9	135,1	FN01A -STF26	0,75	0,42		0,86	50,41	8	97
OGS_2	135,1	136,4	FN27A	0,88	0,71		0,82	48,76	5	84
OGS_3	136,4	141,3	FN28A - FS30B	0,73	0,85		0,82	50,47	4	85
OGS_4	141,3	143,6	FS31A - FS32B	0,60	1,00		0,82	46,16	3	75
OGS_5	143,6	147,2	FS33A - FS35A	0,65	0,86		0,82	45,17	3	73
OGS_6	147,2	154,5	FS36A - FS39A	0,60	0,73		0,82	46,34	2	73
OGS_7	154,5	162,5	FS39B - FS40A	0,57	0,86		0,82	49,04	2	73
OGS_8	162,5	175,2	FS42A - FS44A	0,59	0,98		0,77	66,15	5	92
OGS_9	175,2	186,8	FS45A - FS48A	0,63	0,93		0,79	73,07	4	94
OGS_10	186,8	203,0	FS50A - FS53C	0,54	0,88		0,80	84,95	5	100
OGS_11	203,0	219,0	FS55A - FS63A	0,39	0,67		0,76	117,12	19	127
OGS_12	219,0	227,3	FS64A	0,44	0,75		0,80	130,04	24	132
OGS_13	227,3	234,7	FS67A - FS68A	0,45	0,83		0,80	140,48	24	136
OGS_14	234,7	240,5	FS70A - FS74S	0,38	0,75		0,80	189,31	40	159
OGS_15	240,5	259,0	FS74T -FS79B	0,42	0,68		0,80	197,87	39	134
OGS_16	259,0	266,7	FS79C- FS80A	0,35	0,76		0,85	204,17	38	136

Tab. 1. 5 - Valori medi delle tre campagne invernali degli indici di qualità, delle misure di portata e della %DMV per tratto fluviale.

Media campagne invernali, scenario 15%				Indici di qualità per tratto fluviale				Portata per tratto		
Tratto	km inizio tratto	km fine tratto	Stazioni	LIMeco	STAR ICMi – MTS	IBMR	ICMi	Portata ($m^3 s^{-1}$) media ± err.st		% DMV
OGS_1	110,9	135,1	FN01A -STF26	0,78	0,38			51,21	9	99
OGS_2	135,1	136,4	FN27A	0,88	0,45			45,74	11	79
OGS_3	136,4	141,3	FN28A - FS30B	0,88	0,49			37,91	12	64
OGS_4	141,3	143,6	FS31A - FS32B	0,81	0,53			43,00	11	70
OGS_5	143,6	147,2	FS33A - FS35A	0,75	0,78			42,02	11	68
OGS_6	147,2	154,5	FS36A - FS39A	0,69	1,03			42,79	11	68
OGS_7	154,5	162,5	FS39B - FS40A	0,52	1,08			45,67	11	68
OGS_8	162,5	175,2	FS42A - FS44A	0,69	1,14			61,65	7	86
OGS_9	175,2	186,8	FS45A - FS48A	0,65	0,94			64,63	7	83
OGS_10	186,8	203,0	FS50A - FS53C	0,63	0,75			71,97	7	85
OGS_11	203,0	219,0	FS55A - FS63A	0,46	0,77			95,09	8	103
OGS_12	219,0	227,3	FS64A	0,46	0,80			107,28	13	109
OGS_13	227,3	234,7	FS67A - FS68A	0,54	0,84			112,56	13	109
OGS_14	234,7	240,5	FS70A - FS74S	0,58	0,70			138,23	20	116
OGS_15	240,5	259,0	FS74T -FS79B	0,51	0,57			146,14	21	99
OGS_16	259,0	266,7	FS79C- FS80A	0,63	0,77			151,78	21	101

Tab. 1. 6 - Valori medi delle tre campagne primaverili degli indici di qualità, delle misure di portata e della %DMV per tratto fluviale.

Media campagne primaverili, scenario 10%				Indici di qualità per tratto fluviale				Portata per tratto		
Tratto	km inizio tratto	km fine tratto	Stazioni	LIMeco	STAR ICMi – MTS	IBMR	ICMi	Portata ($m^3 s^{-1}$) media ± err.st		% DMV
OGS_1	110,9	135,1	FN01A -STF26	0,77	0,45			41,09	10	79
OGS_2	135,1	136,4	FN27A	0,79	0,46			25,87	6	45
OGS_3	136,4	141,3	FN28A - FS30B	0,76	0,47			23,53	7	40
OGS_4	141,3	143,6	FS31A - FS32B	0,64	0,48			20,40	5	33
OGS_5	143,6	147,2	FS33A - FS35A	0,72	0,58			18,92	5	31
OGS_6	147,2	154,5	FS36A - FS39A	0,70	0,69			19,89	6	31
OGS_7	154,5	162,5	FS39B - FS40A	0,63	0,84			22,36	6	33
OGS_8	162,5	175,2	FS42A - FS44A	0,60	1,00			31,74	8	44
OGS_9	175,2	186,8	FS45A - FS48A	0,58	0,75			30,71	6	39
OGS_10	186,8	203,0	FS50A - FS53C	0,46	0,50			38,19	5	45
OGS_11	203,0	219,0	FS55A - FS63A	0,37	0,51			58,56	7	63
OGS_12	219,0	227,3	FS64A	0,42	0,63			65,47	5	66
OGS_13	227,3	234,7	FS67A - FS68A	0,39	0,76			71,31	7	69
OGS_14	234,7	240,5	FS70A - FS74S	0,45	0,63			89,36	11	75
OGS_15	240,5	259,0	FS74T -FS79B	0,39	0,51			97,45	14	66
OGS_16	259,0	266,7	FS79C- FS80A	0,32	0,64			104,93	14	70

10. ANALISI DEGLI SCENARI DI SPERIMENTAZIONE NEI TRATTI DI FIUME SOTTESI ALLE CENTRALI ELETTRICHE - (SCENARI DEL GRUPPO B)

Le stazioni sottese a prelievi e restituzioni d'acqua per alimentare gli impianti idroelettrici sono rappresentative del sottotratto stesso. In questo capitolo sono analizzati gli scenari di portata sperimentati in questi sottotratti nei tre anni di progetto e posti in relazione ai descrittori chimico-fisici misurati nello stesso contesto. La stazione STA03 è associata al sottotratto OGS_1_1B - Centrale Castelmontecchio, la stazione STB06 al sottotratto OGS_1_2B - Centrale Capriolo, la stazione STC08 al sottotratto OGS_1_3B - Centrale Tagliuno, la stazione STD14 al sottotratto OGS_1_4B - Centrale Palazzolo, la stazione STE18 al sottotratto OGS_1_5B - Centrale Palosco e infine la stazione STF26 al sottotratto OGS_1_7B - Centrale Urago. Nella relazione annuale 2011-2012 è stato messo in evidenza come per problemi strutturali o di manutenzione di alcune centrali idroelettriche non è stato possibile rispettare lo scenario di sperimentazione in alcuni tratti sottesi e quindi i valori di portata misurati sono risultati ampiamente superiori a quelli definiti dalla sperimentazione. Dati gli scopi del progetto, indirizzati a definire sperimentalmente il deflusso "minimo" vitale del fiume Oglio sublacuale, e data la grande eterogeneità delle portate nelle diverse stazioni è stato deciso di categorizzare i dati raccolti. Dai valori di portata misurati è stata calcolata la % DMV rispetto alla portata media naturale e i valori ottenuti sono stati raggruppati in categorie secondo lo schema che segue:

- 5% (per tutte le misure ≤ 6,25%),
- 7,5% (per quelle rientranti nell'intervallo tra 6,25 e 8,75%),
- 10% (per le misure rientranti nell'intervallo 8,75 e 12,5%),
- 15% (per le misure tra 12,5 e 17,5%),
- 20% (per l'intervallo 17,5% e 22,5%),
- 25% (per le misure >22,5%).

Viene ribadito che tutte le portate superiori al 22% del deflusso medio naturale rientrano nella categoria 25%, quella meno interessante ai fini del progetto.

La tabella 2.1 riassume la portata media naturale nei tratti sottesi proposta dal PTUA (2006) e utilizzata nel progetto per definire lo scenario del 5% e la portata media naturale nei tratti sottesi derivante dalla serie storica del Consorzio dell'Oglio e utilizzata nel progetto per stabilire lo scenario del 7.5%, 10% e 15%. Rapportando la portata misurata alla portata media naturale del tratto, che rappresenta il 100% del deflusso, è stata determinata la % che di fatto è stata sperimentata.

Tab. 2.1 – Portate medie naturali nei tratti sottesi proposte dal PTUA (2006) dalla serie storica del Consorzio dell'Oglio.

Tratto	Stazione	Portata media naturale del tratto	
		PTUA	Consorzio dell'Oglio
		m^3s^{-1}	m^3s^{-1}
OGS_1_1B	STA03	58,00	51,90
OGS_1_2B	STB06	58,00	51,30
OGS_1_3B	STC08	58,70	51,40
OGS_1_4B	STD14	59,10	50,40
OGS_1_5B	STE18	60,30	50,10
OGS_1_7B	STF26	64,30	55,80

La significatività delle differenze tra alcuni parametri chimici selezionati ($\%O_2$, azoto nitrico, azoto ammoniacale, fosforo totale, metano, DIC e conducibilità) nei diversi scenari (% DMV), tratti (stazione sottesa) e stagioni è stata valutata attraverso un'analisi della varianza (ANOVA) a 3 vie. Lo stesso approccio è stato utilizzato per valutare eventuali differenze tra i valori dell'indice LIMeco. Poichè l'obiettivo del progetto è definire il deflusso minimo vitale nei sottotratti a valle delle centrali idroelettriche, è stato testato se i parametri misurati fossero statisticamente differenti in base allo scenario sperimentato, alla stazione o sottoratto sito di campionamento, alla stagione di campionamento e l'eventuale esistenza di interazione tra questi fattori, ovvero se uno influisce sull'altro, amplificando o diminuendo in modo non proporzionale l'effetto atteso. Per alcuni parametri è stata applicata la trasformazione logaritmica dei dati perché i residui del modello non erano distribuiti in modo normale. Nel test dell'ANOVA a tre vie non è stata considerata l'interazione tripla DMV*Stazione*Stagione, così come l'interazione doppia DMV*Stazione a causa della mancanza di alcune repliche per 2 o 3 fattori che avrebbe impedito l'applicazione del test. Infine è stato applicato il metodo dello "stepwise model selection" attraverso il calcolo dell'AIC (Akaike Information Criterion) che consente di testare la bontà del modello e quindi se i fattori e le interazioni analizzate con il test dell'ANOVA siano quelle che permettono di spiegare la maggiore variabilità del sistema e quindi di fittare meglio i dati raccolti e rappresentare la realtà.

La tabella 2.2 riassume il test dell'ANOVA a 3 vie. Il modello con cui sono stati testati i dati è:

Variabile misurata versus DMV+Stazione+Stagione+(Stazione:Stagione)+(DMV:Stagione).

in cui il simbolo *somma* indica che l'analisi ha considerato tutti i fattori singoli e le interazioni doppie specificate *in parentesi* nella formula[5]. La prima colonna della tabella 2.2 elenca i fattori e le interazioni doppie testate, a fianco sono riportati i gradi di libertà e per ogni parametro idrochimico testato il risultato del test e il livello di significatività. In un test dell'ANOVA a più vie che presuppone un modello complesso con interazioni tra fattori, si considera prima la significatività delle interazioni e, nel caso queste non siano significative, si semplifica il modello togliendole dall'analisi. Può capitare che un fattore singolo non sia significativo, ma la sua interazione con un secondo fattore determini differenze significative e, di conseguenza, è bene non eliminarlo dall'analisi. La semplificazione del modello di partenza viene svolta in modo automatico con il metodo dello "stepwise model selection" che elimina i fattori non significativi. La prima colonna di tabella 3.3 elenca tutti i possibili modelli testati a partire da quello di partenza dell'ANOVA a tre vie di tabella 2.2. Ad ogni modello testato per spiegare la variabilità del parametro idrochimico viene associato un valore di AIC, più il valore è basso, più il modello è in grado di fittare e spiegare la realtà e quindi sarà quello più idoneo ad interpretare i dati raccolti. Le caselle in grigio indicano il valore più basso di AIC e quindi il modello adatto per il parametro idrochimico considerato.

Per interpretare meglio i risultati dell'ANOVA, per ogni parametro sono stati realizzati dei grafici di interazione che permettono di evidenziare la presenza o meno di interazioni tra coppie di fattori (Crawley, 2007): il primo fattore è sull'asse delle x e il secondo fattore produce la famiglia di linee del grafico. Le linee uniscono i valori medi di risposta (parametro) per ogni combinazione di fattori. Se le li-

5 Per ogni fattore viene indicato il livello di significatività, ovvero se la variabile è statisticamente differente per il fattore analizzato e viene quindi rifiutata l'ipotesi nulla di partenza con probabilità di sbagliare minore o uguale dello 0.05 o 0.01 o 0.001. In breve il test dell'ANOVA viene utilizzato per la verifica delle ipotesi e quindi per valutare se è vera o meno l'ipotesi nulla. Prendendo in considerazione la concentrazione di azoto nitrico (NO3-) e l'effetto del fattore stagione l'ipotesi nulla è che non ci sono differenze tra le concentrazioni di NO3- nelle le diverse stagioni. Se non è vera l'ipotesi nulla risulta vera quella alternativa e cioè che ci sono differenze tra le concentrazioni di NO3- nelle diverse stagioni. Per assicurarsi che le differenze che si osservano tra le diverse stagioni non sono dovute al caso ci si riferisce ai valori soglia sopracitati (0.05, 0.01, 0.001). In altre parole si valuta se la probabilità di ottenere per caso la differenza osservata sia minore del 5% (0.05), dello 0.01 (1%) o dello 0.001 (0.1%).

nee non sono parallele allora c'è interazione tra i fattori, ovvero la risposta media al primo fattore dipende dal livello del secondo fattore. È stato deciso di non riportare i grafici dell'interazione DMV*Stagione perché dalle tabelle 2.2 e 2.3 si evince che solo la concentrazione di azoto ammoniacale è statisticamente differente in base ai deflussi in alveo e che tale differenza è anche influenzata dalla stagione di campionamento. I grafici mostrano quindi l'interazione Stagione*Stazione, testata con l'ANOVA, ma anche l'interazione DMV*Stazione che non è stato possibile testare per mancanza di repliche e per questo motivo è stata semplicemente indagata attraverso questi grafici.

La percentuale di saturazione di ossigeno è risultata statisticamente differente tra stagioni, tra scenari di sperimentazione e tra tratti-stazioni. Anche il metodo AIC, conferma l'importanza dei singoli fattori nello spiegare la variabilità dei dati. La figura 2.1 mostra le medie dei valori di percentuale di saturazione dell'ossigeno in relazione al fattore Stagione e Tratto-Stazione. Dal grafico e dal test dell'ANOVA, si evince che non c'è interazione tra i due fattori, mentre ipotizzando per ogni stagione un valore medio dei sei tratti c'è differenza tra stagioni, in particolare tra autunno e primavera (test post-hoc di Tukey, $p<0.01$). La figura 2.2 riporta invece l'interazione tra %DMV e Tratto-Stazione sempre per i valori medi di percentuale di saturazione dell'ossigeno. Questa interazione non è stata testata con l'ANOVA per mancanza di repliche; poichè alcune stazioni presentano andamento parallelo altre meno, non si può dire di fatto se l'interazione sia significativa. Calcolando il valore medio dai sei valori delle stazioni per ogni %DMV si nota che c'è differenza significativa tra scenari sperimentati dovuta in particolare alle differenze tra gli scenari 5% e 10% (test di Tukey, $p<0.05$), tra 15% e >25% (test di Tukey, $p<0.05$), tra 5% e 20% (test di Tukey, $p<0.05$) e tra 5% e >25% (test di Tukey, $p<0.001$). La percentuale di saturazione dell'ossigeno, misurata in condizione di 5% di DMV, risulta statisticamente più bassa rispetto agli scenari dal 10% in su, va in ogni modo considerato il fatto che si parla di piccole differenze uguali o superiori al 100% di saturazione. Infine osservando gli andamenti delle stazioni sia in figura 2.1 che in figura 2.2 si nota come le stazioni-tratti STA3 e STD14 siano completamente differenti (test di Tukey, $p<0.01$).

Tab. 2.2 - Anova a tre fattori (DMV o scenario di sperimentazione, tratto, stagione) sul dataset delle stazioni dei tratti sottesi raccolto durante i tre anni di sperimentazione. Alcune variabili sono state trasformate con la funzione logaritmica (log). F: test F, gdl: gradi di libertà, livello di significatività: * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001. Il modello testato è il seguente: Variabile misurata~DMV+Stazione+Stagione+Stazione*Stagione+DMV*Stagione.

Anova a tre vie		**%O_2**		**log(Cond)**		**DIC**		**log(NO_3^-)**		**log(NH_4^+)**		**log(TP)**		**log(CH_4)**		**LIMeco**	
FATTORI	**gdl**	**F**	**Signif.**	**F**	**Signif.**	**F**	**Signif.**	**F**	**Signif.**	**F**	**Signif.**	**F**	**Signif.**	**F**	**Signif.**	**F**	**Signif.**
DMV	5	5,60	***	5,92	***	1,19	n.s	1,79	n.s	4,90	***	2,20	n.s	1,78	n.s	3,06	*
Stazione	5	3,10	*	5,21	***	23,66	***	27,50	***	8,94	***	13,51	***	2,07	n.s	6,93	***
Stagione	3	3,43	*	48,65	***	113,24	***	42,28	***	15,42	***	5,83	***	12,04	***	4,35	**
Stazione*Stagione	15	0,56	n.s	1,74	*	4,23	***	5,52	***	1,10	n.s	0,54	n.s	0,10	n.s	0,93	n.s
DMV*Stagione	15	1,35	n.s	0,80	n.s	0,69	n.s	0,57	n.s	2,82	***	1,22	n.s	1,69	n.s	1,48	n.s

Tab. 2.3 - Akaike Information Criterion (AIC) sul modello a tre fattori di ogni parametro testato con l'ANOVA (tab. 3.1). La casella in grigio indica il modello che fitta meglio i dati e spiega la maggiore varianza del sistema. Per maggiori dettagli si rimanda al testo.

Modelli	**%O_2**	**log(Cond)**	**DIC**	**log(NO_3^-)**	**log(NH_4^+)**	**log(TP)**	**log(CH_4)**	**LIMeco**
DMV								
Stazione						-318,83		
Stagione						-280,82		
DMV+Stagione	1007,1	-944,27				-278,33	406,9	-897,06
DMV+Stazione	1005,8	-853,11				-318,96	436,77	-914,29
Stazione+Stagione	1011,9	-957,58				-332,22	410,28	-902,7
DMV+Stazione+Stagione	1001	-962,38	-700,52	-376,72		-331,15	406,73	-921,42
Stazione+Stagione+Stazione*Stagione		-948,16	-729,69	-425,93				
DMV+Stagione+DMV*Stagione	1018,8					-260,54	413,96	-887,32
DMV+Stazione+Stagione+Stazione*Stagione	1021,7	-960,86	-734,88	-428,3	62,036	-310,05	435,05	-906,31
DMV+Stazione+Stagione+DMV*Stagione	1012,17	-945,97	-687,05	-355,46	46,443	-316,67	414,6	-914,5
DMV+Stazione+Stagione+Stazione*Stagione+DMV*Stagione	1027,9	-945,23	-717,29	-408,73	44,94	-301,73	435,63	-902,25

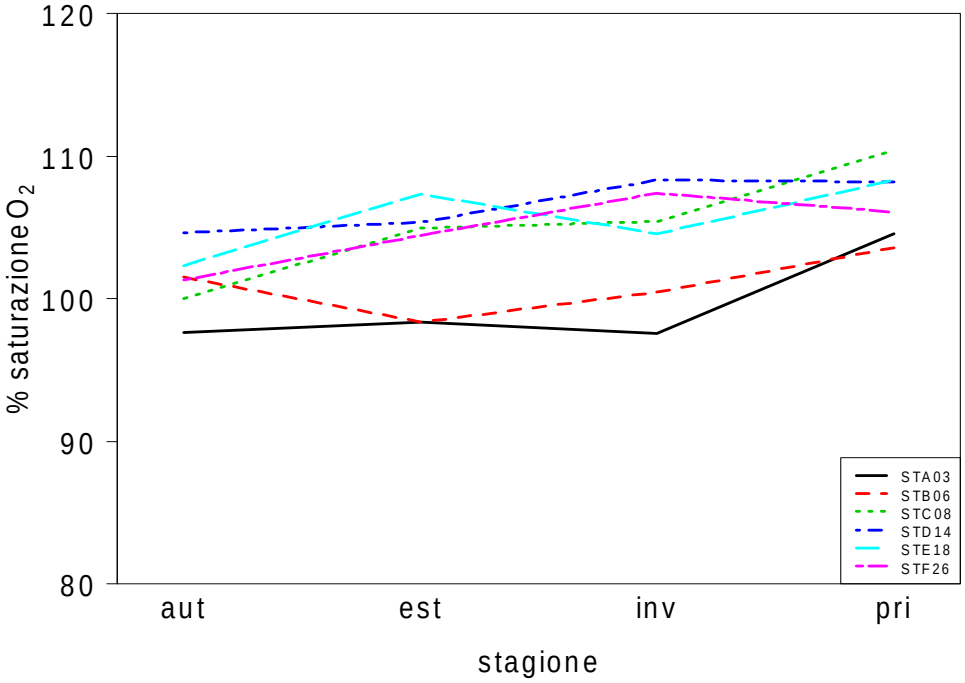

Fig. 2.1 - Grafico di interazione tra fattori. Percentuale di saturazione dell'ossigeno versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

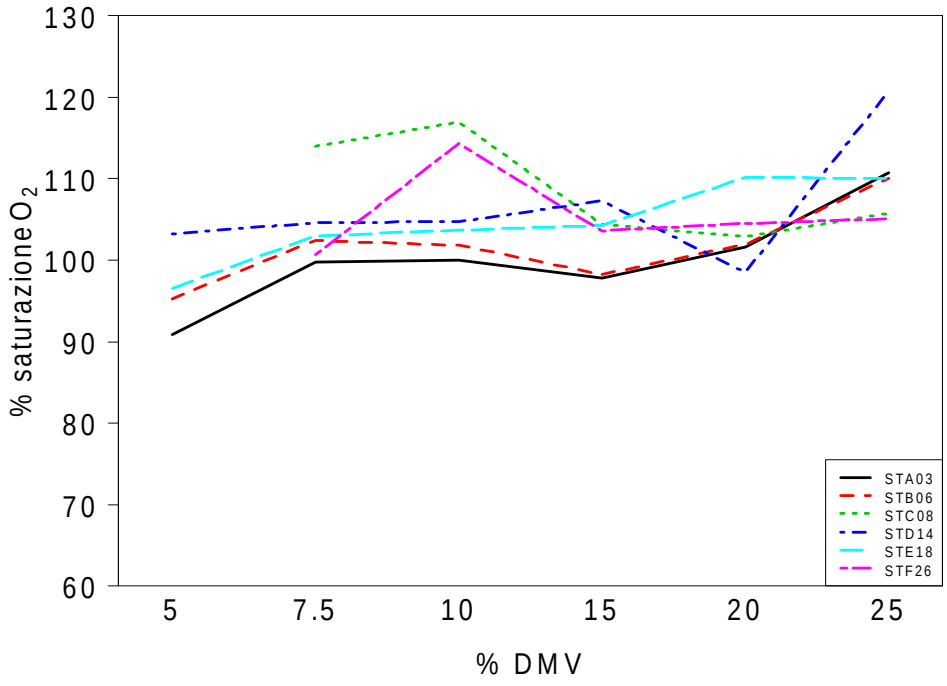

Fig. 2.2 - Grafico di interazione tra fattori. Percentuale di saturazione dell'ossigeno versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

La concentrazione media di azoto ammoniacale è risultata statisticamente differente in base alla % di deflusso sperimentata in combinazione con la stagione in cui sono state svolte le misure, come con-

fermato anche dal metodo AIC (tab. 2.2). Gli andamenti di azoto ammoniacale per le sei stazioni in relazione alla stagione risultano essere abbastanza simili, si nota come in primavera la concentrazione media dei sei tratti sia statisticamente maggiore rispetto alle altre stagioni (test di Tukey, $p<0.001$) (Fig. 2.4). L'interazione %DMV e Stagioni esplicitata in figura 2.5 mette in evidenza l'andamento differente delle concentrazioni medie di azoto ammoniacale per la stagione invernale con deflusso >25% con quasi tutte le stagioni e gli scenari: estate 15% (test di Tukey, $p<0.001$), estate 5% (test di Tukey, $p<0.01$), inverno 10% (test di Tukey, $p<0.01$) inverno 7.5% (test di Tukey, $p<0.01$), primavera 7.5%, 10%, 15%, 20%, >25% (test di Tukey, tutti $p<0.001$). Una differenza significativa è stata riscontrata anche tra estate e primavera al 10% (test di Tukey, $p<0.05$). Infine il grafico in figura 2.6 pone l'attenzione sulle concentrazioni di azoto ammoniacale in relazione ai deflussi sperimentati e alla combinazione con le stazioni o tratti. Le stazioni STF26 e STB6 sembrano differenziarsi rispetto alle altre stazioni, mostrando rispettivamente valori maggiori di concentrazione a basse %DMV (manca il 5%) e minori ad alte %DMV.

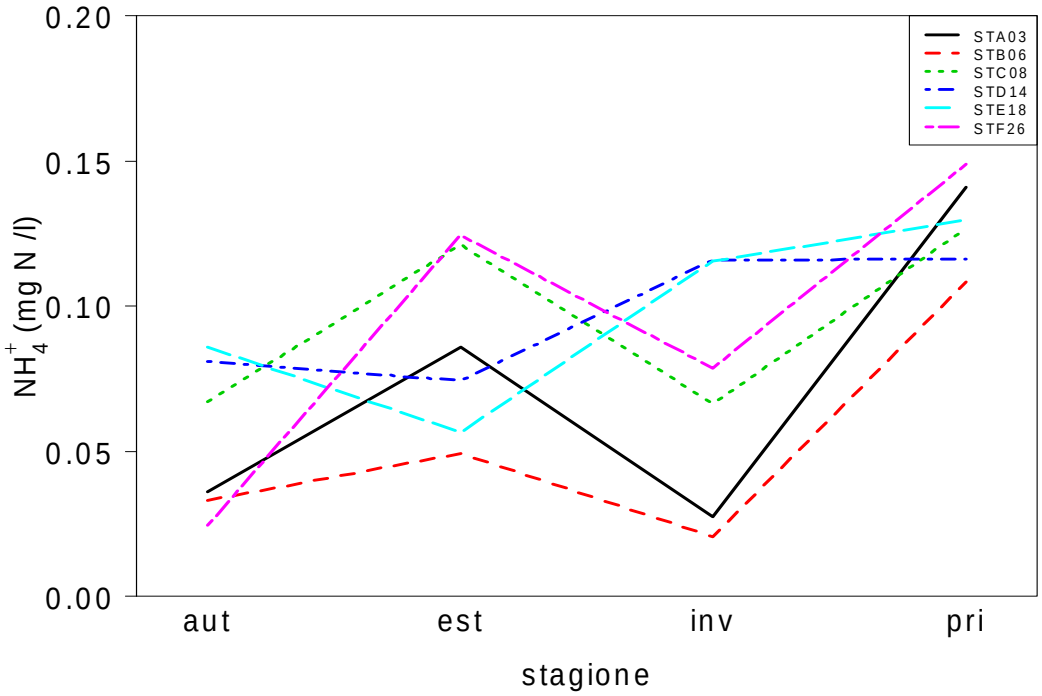

Fig. 2.3 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di azoto ammoniacale versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

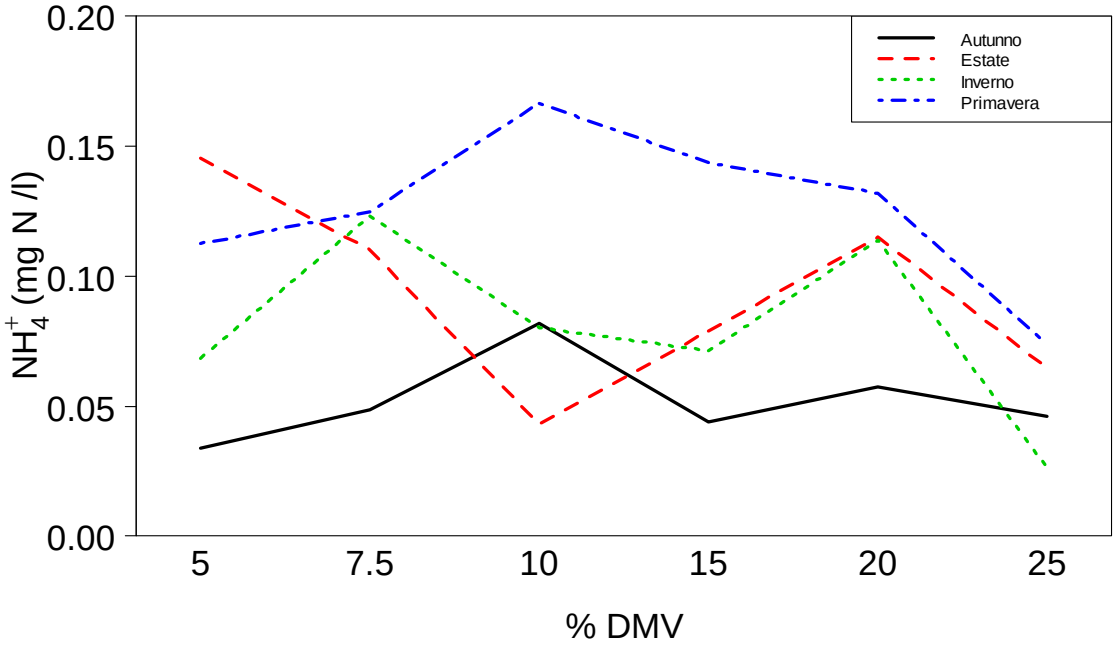

Fig. 2.4 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di azoto ammoniacale versus il fattore %DMV e il fattore Stagione.

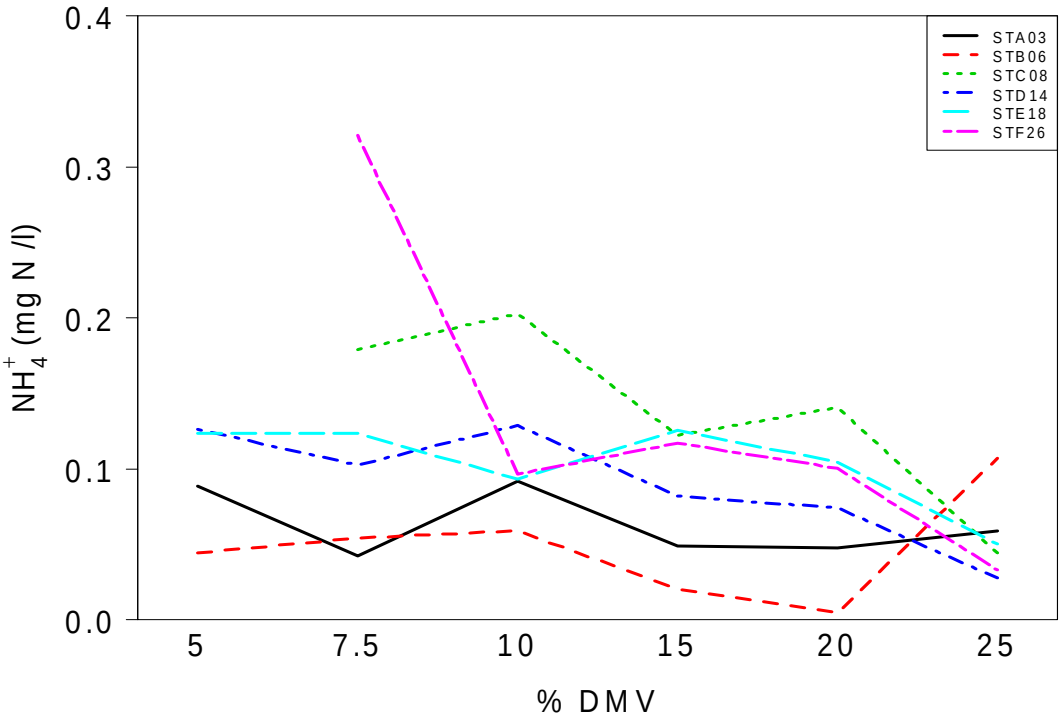

Fig. 2.5 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di azoto ammoniacale versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

La concentrazione media di fosforo totale non dipende dall'interazione dei fattori analizzati e nemmeno dalla %DMV sperimentata, ma c'è un influenza additiva di stagione e stazione-tratto. I valori estivi sono maggiori di quelli invernali e autunnali (test di Tukey, entrambi $p<0.05$). I valori della stazione STB06 sono minori rispetto a quelli delle stazioni STE18 e STF26 (test di Tukey, rispettivamente $p<0.001$ e $p<0.05$); così come quelli della stazione STA3 rispetto alla stazione STE18 (test di Tukey, entrambi $p<0.05$) (fig. 2.6 e 2.7).

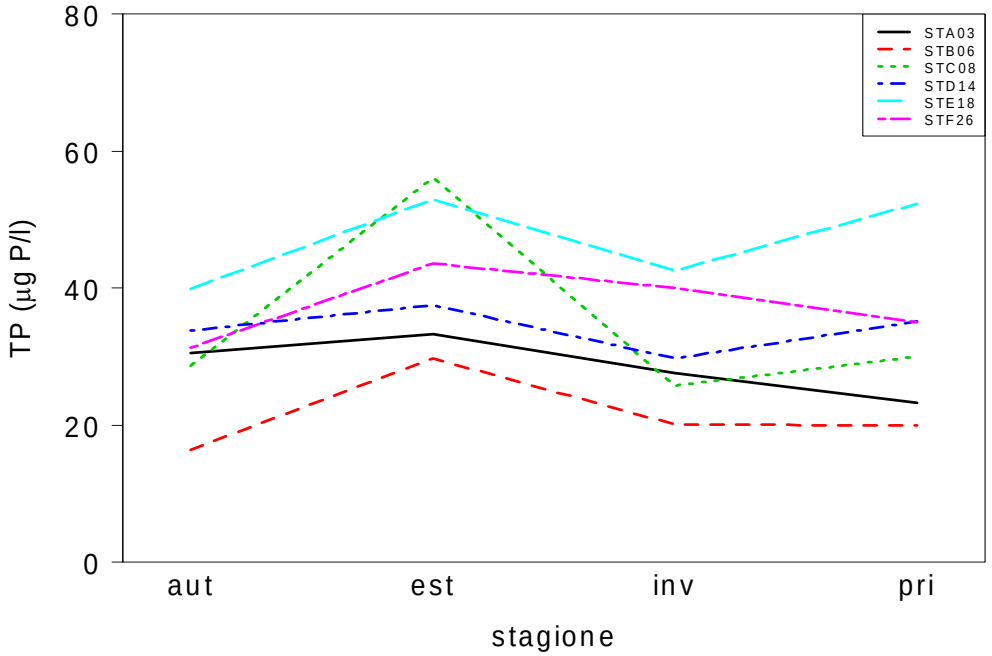

Fig. 2.6 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di fosforo totale versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

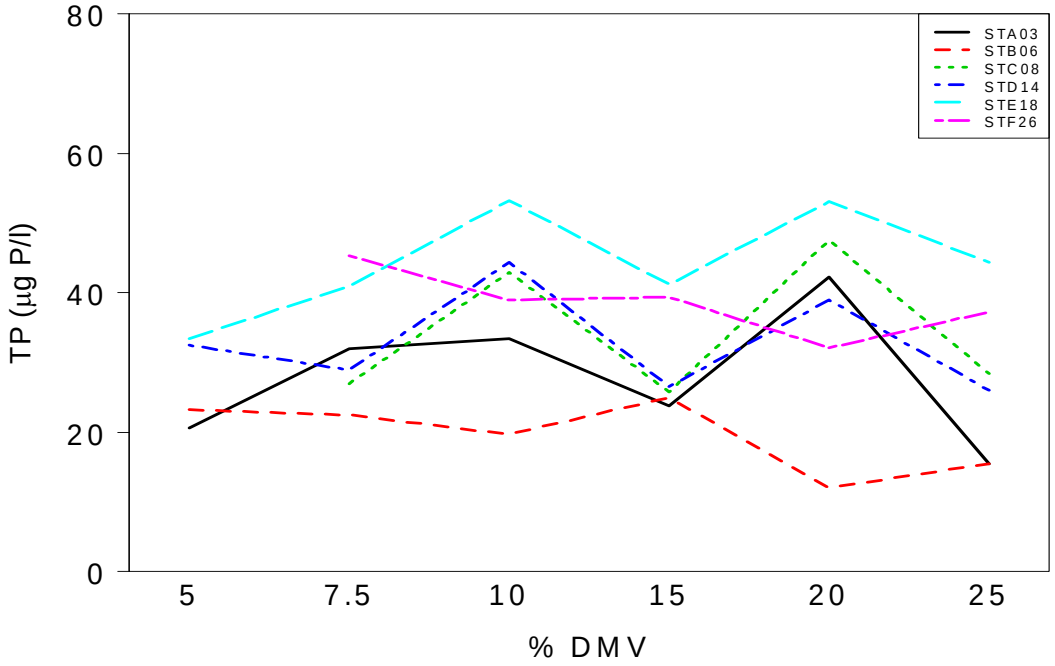

Fig. 2.7 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di fosforo totale versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

Dal test dell'ANOVA a tre vie, l'unico fattore che incide sulle concentrazioni di metano disciolto è la stagione (tab. 2.2 e 2.3). La figura 2.8 mostra linee parallele e quindi assenza di interazione tra stagione e stazione-tratto. Il test post-hoc di Tukey mostra valori maggiori di metano nella stagione primaverile rispetto all'autunno ($p<0.001$) e all'inverno ($p<0.05$), così come nella stagione estiva rispetto all'autunno ($p<0.001$), ma anche tra autunno ed inverno ($p<0.01$). La figura 2.9 indaga l'interazione tra %DMV e Stazione-tratto per il metano disciolto. Le linee non sono parallele e potrebbe ipotizzare che ci sia differenza, servirebbe in ogni modo un maggiore approfondimento e il fattore %DMV singolo non è risultato significativo. La stazione STA03 ha un andamento completamente differente rispetto alle altre stazioni, alcune sono simili per le prime percentuali di DMV e poi modificano il loro corso, comunque la concentrazione di metano rimane sotto 1 µM fino al 10% DMV e sotto a 1.5 µM per le restanti %DMV.

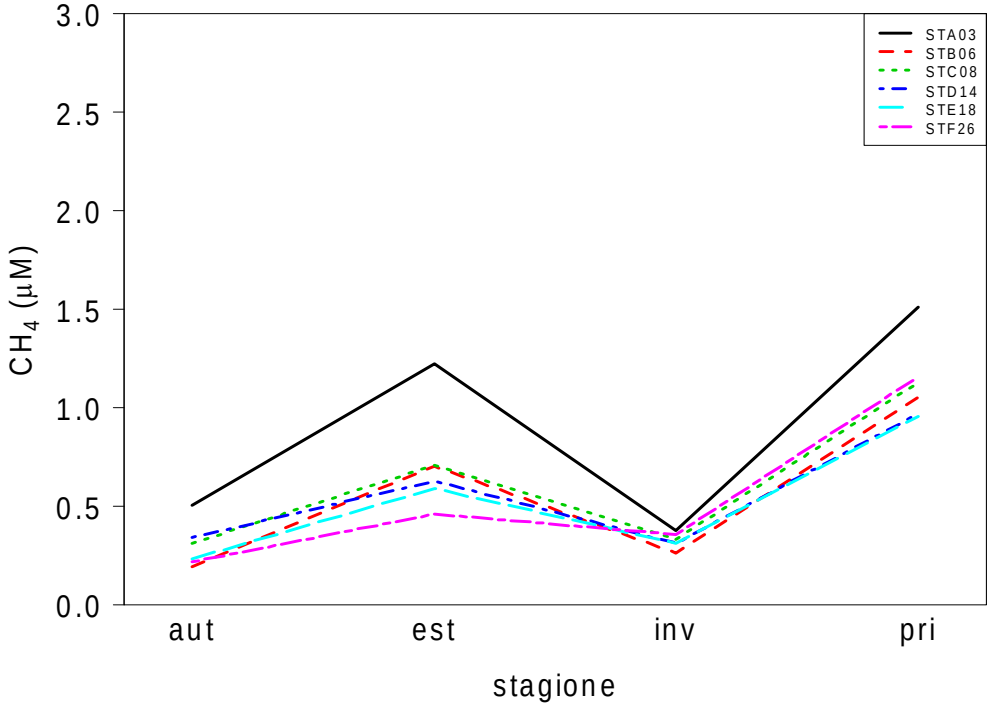

Fig. 2.8 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di metano disciolto versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

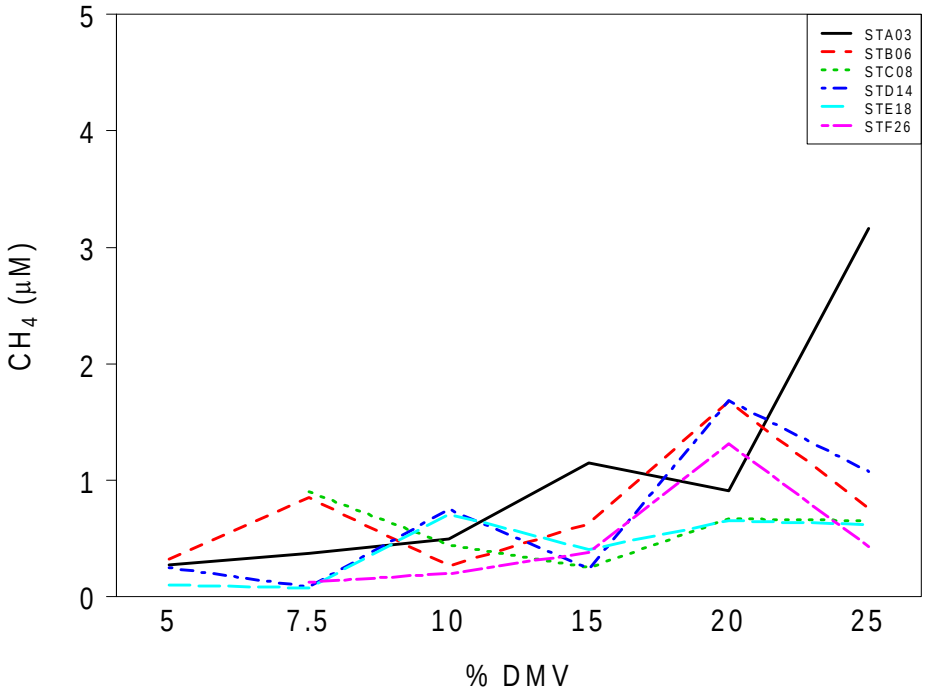

Fig. 2.9 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di metano disciolto versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

Le concentrazioni di azoto nitrico sono risultate statisticamente differenti tra stagioni e stazioni con un effetto combinato dei due fattori (tab. 2.2 e 2.3). La significatività dell'interazione è dovuta alla stazione STF26 in coincidenza della stagione estiva: la concentrazione media di azoto nitrico misurata nelle 4 stagioni è influenzata dalla stazione o tratto in cui la misuri (fig. 2.10). Anche per quanto riguarda l'interazione tra %DMV e stazioni, non testata con l'ANOVA, dal grafico di figura 2.11 la concentrazione media di azoto misurata in % DMV differenti è influenzata dal sito di misura e la significatività è data sempre dalla stazione STF26. Valori di azoto nitrico maggiori nella stagione estiva nella stazione STF26 vanno ancora una volta a sostenere l'ipotesi di interazione tra le acque di fiume e quelle di falda. In estate il livello della falda, ricaricata in tarda primavera, è alto e l'influenza delle acque di falda sulle acque fluviali inizia a percepirsi nel tratto adiacente alla stazione STF26. Come riscontro a questo risultato, anche l'ANOVA a tre vie sul parametro DIC riporta lo stesso risultato, così come i grafici di interazione (tab. 2.2 e 2.3 e fig. 2.12 e 2.13). Come spiegato in precedenza azoto nitrico, DIC e conducibilità sono i tre parametri che hanno permesso di evidenziare l'alimentazione del fiume dalle acque di falda. Anche il parametro conducibilità presenta l'interazione doppia Stagione*Stazione, ma anche tutti i fattori singoli risultano significativi, compresa la %DMV (tab. 2.2). Il metodo AIC elimina l'interazione e dà maggiore importanza ai singoli fattori nello spiegare il sistema (tab. 2.3). La figura 2.14 mette in evidenza come sia sempre la stazione STF26 ad avere valori maggiori in estate rispetto alle altre stazioni e in generale il test di Tukey evidenzia differenze con le stazioni STB06, STC08 e STD14 (test di Tukey, rispettivamente $p<0.01$, $p<0.001$, $p<0.05$). I valori medi estivi sono minori rispetto all'autunno (test di Tukey, $p<0.001$), all'inverno (test di Tukey, $p<0.001$) e alla primavera (test di Tukey, $p<0.001$); anche i valori medi autunnali sono statisticamente minori rispetto a quelli invernali (test di Tukey, $p<0.001$) e primaverili (test di Tukey, $p<0.001$). Il fattore DMV risulta significativo in particolare per l'aumento dei valori di conducibilità da scenari bassi (5 e 10%) allo scenario >25% (test di Tukey, rispettivamente $p<0.001$ e $p<0.05$).

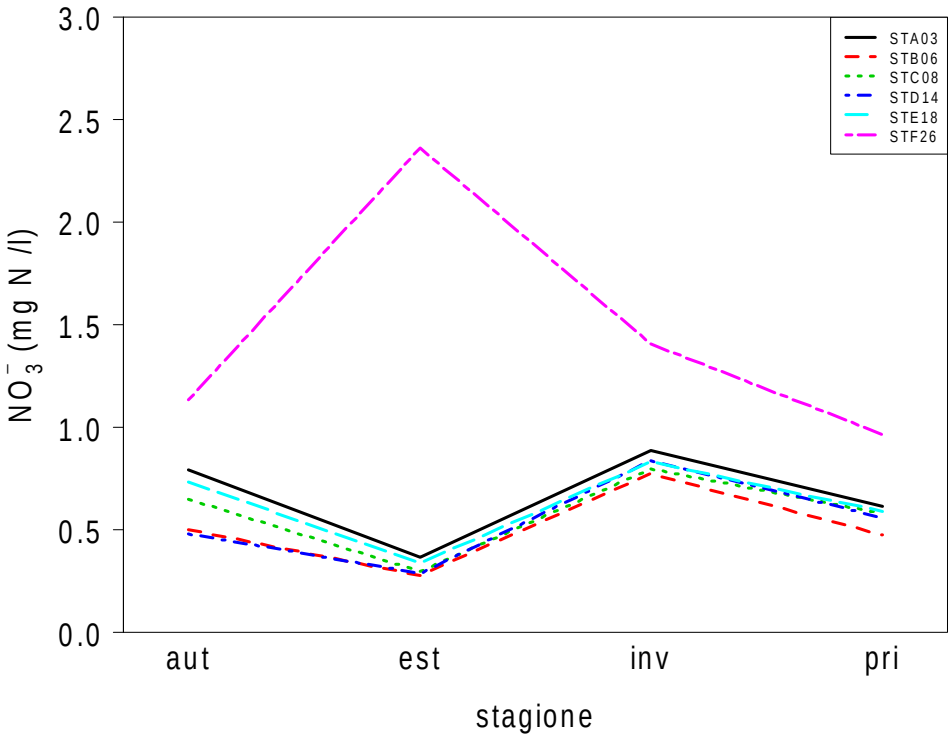

Fig. 2.10 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di azoto nitrtico versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

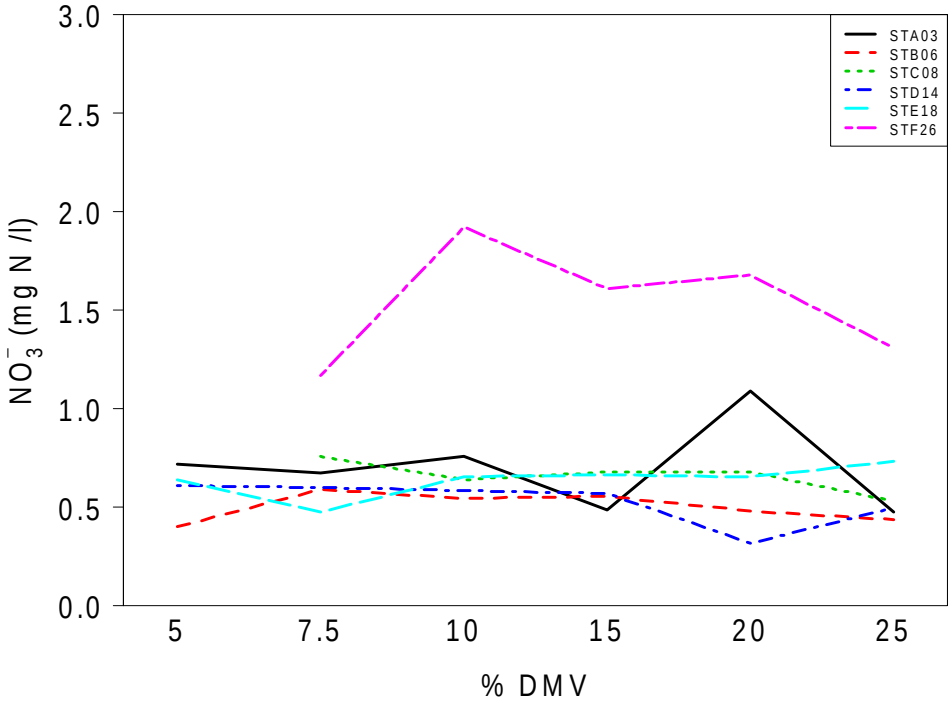

Fig. 2.11 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di azoto nitrico versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

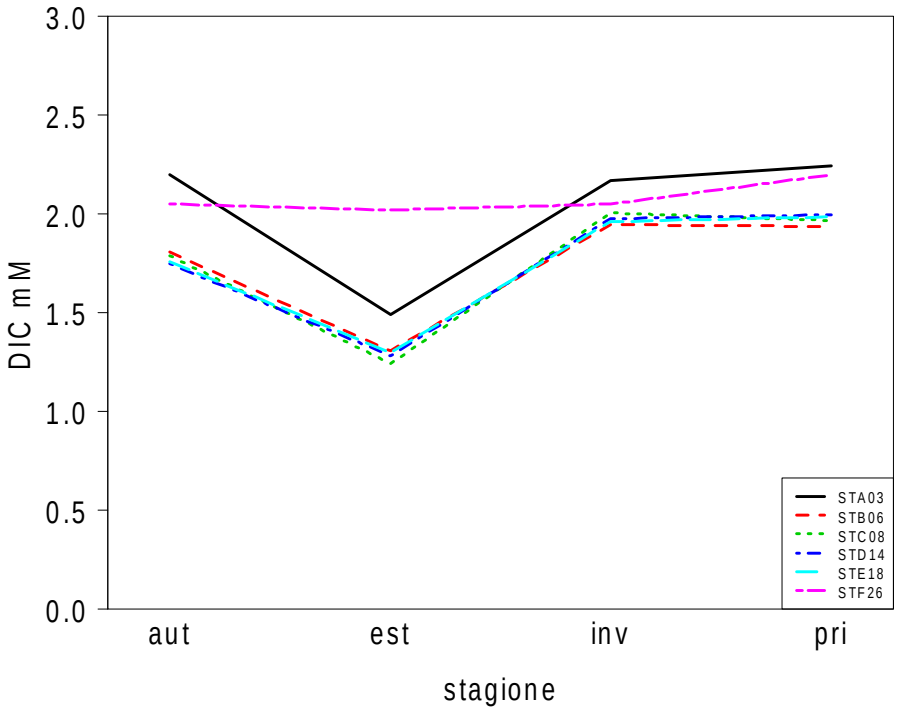

Fig. 2.12 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di carbonio inorganico disciolto (DIC) versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

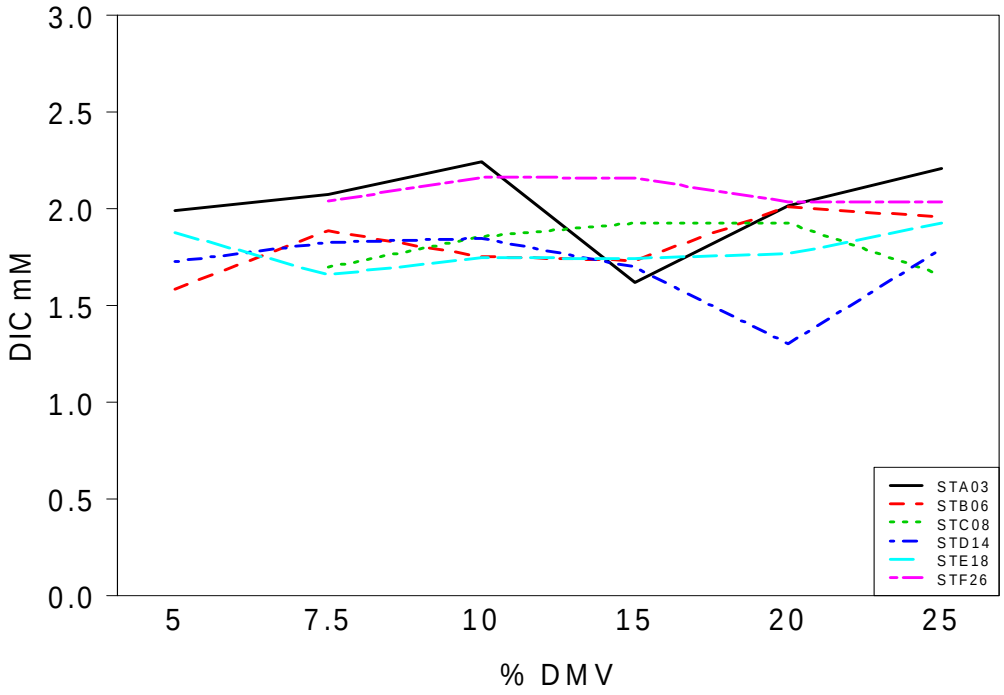

Fig. 2.13 - Grafico di interazione tra fattori. Concentrazione di carbonio inorganico disciolto (DIC) versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

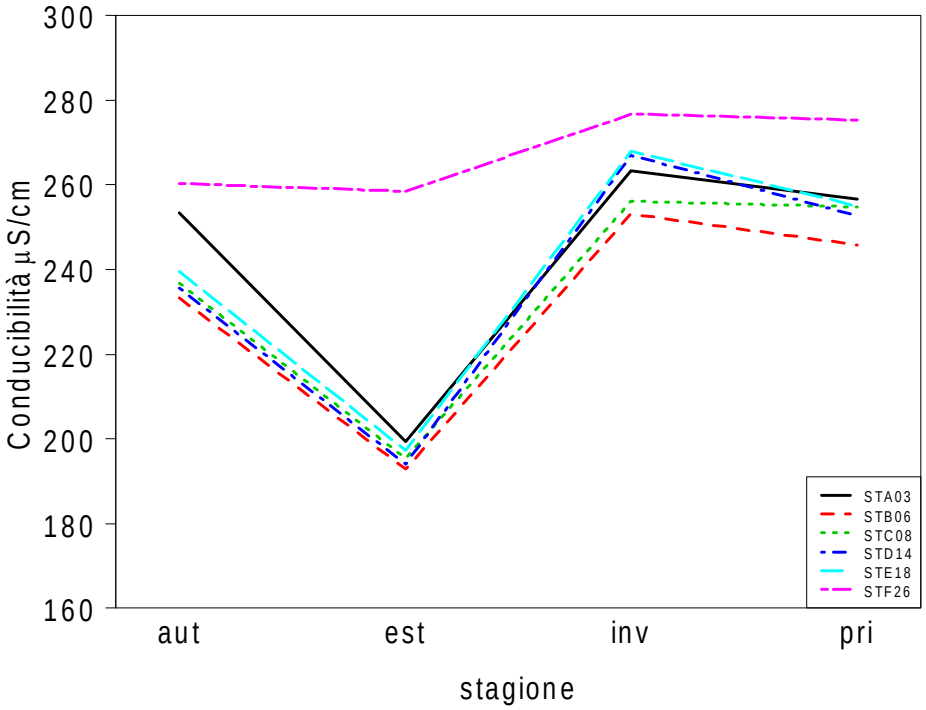

Fig. 2.14 - Grafico di interazione tra fattori. Conducibilità versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

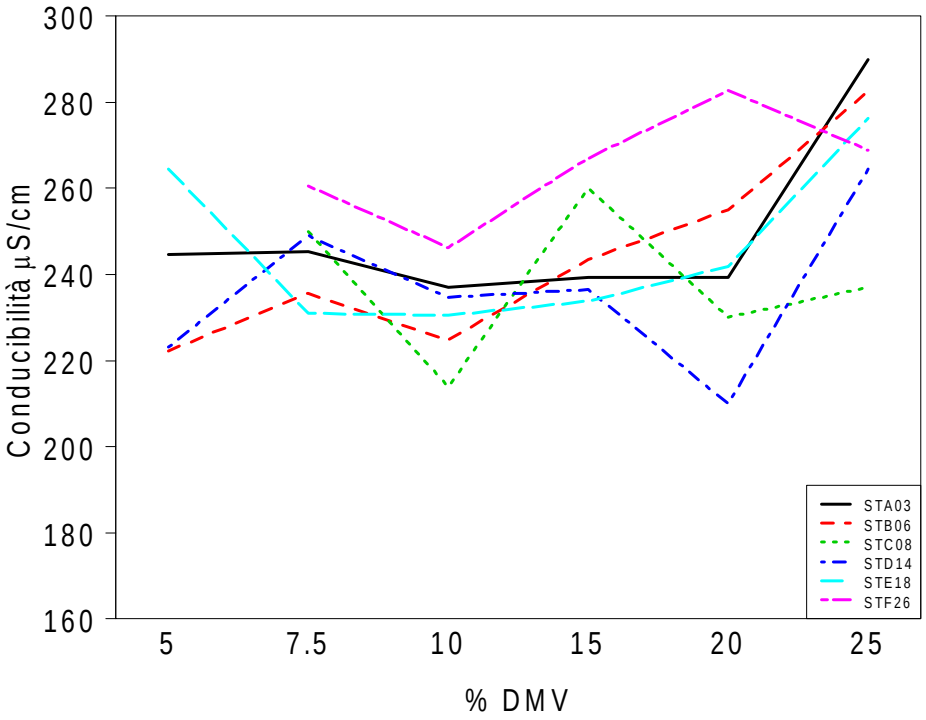

Fig. 2.15 - Grafico di interazione tra fattori. Conducibilità versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

L'ANOVA a tre vie sull'indice LIMeco mette in evidenza l'importanza dei fattori singoli (tab. 2.2 e 2.3). Ricordiamo che l'indice LIMeco è determinato da % di saturazione di ossigeno, azoto ammoniacale, azoto nitrico e fosforo totale. Il valore medio estivo di LIMeco è statisticamente maggiore rispetto al valore dell'autunno, dell'inverno e della primavera (test di Tukey, rispettivamente $p<0.05$, $p<0.05$, $p<0.01$), in ogni modo in tutte le stagioni è in classe elevata. Il punteggio LIMeco tende ad aumentare dallo scenario 5% allo scenario >25%, nonostante rimanga in classe elevata. La stazione STF26 mostra punteggio LIMeco minore in estate ed in generale per i vari scenari di DMV (fig. 2.16 e 2.17). In particolare a 7.5 e 10% di DMV la classe di qualità della stazione STF26 è nello stato buono invece che elevato, indicando l'influenza delle acque di falda ricche di nitrato su quel tratto fluviale. Il test di Tukey mostra che la differenza del LIMeco tra stazioni è dovuta alla differenza tra la stazione STF26 con la STA03 e la STB06 (rispettivamente, $p<0.05$ e $p<0.001$) e della stazione STB06 con la stazione STE18 ($p<0.01$).

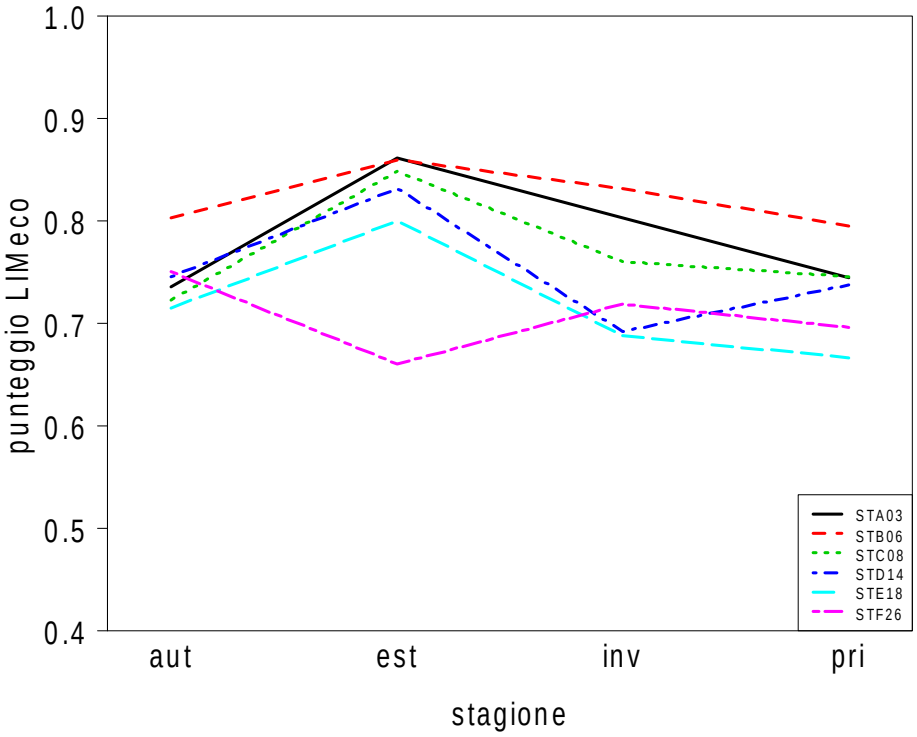

Fig. 2.16 - Grafico di interazione tra fattori. LIMeco versus il fattore Stagione e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

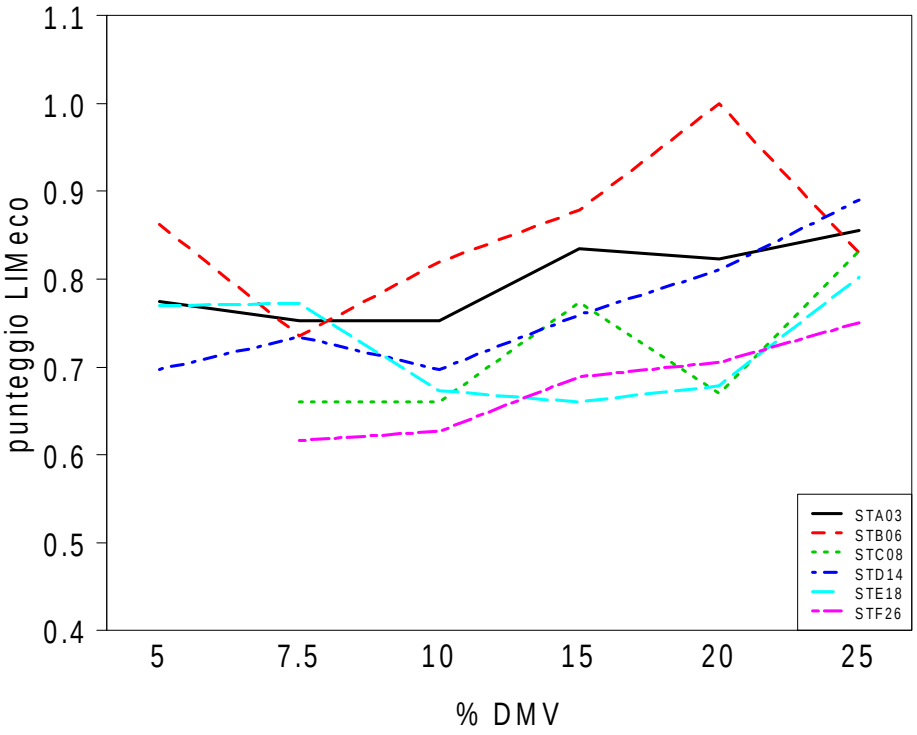

Fig. 2.17 - Grafico di interazione tra fattori. LIMeco versus il fattore %DMV e il fattore Tratto o Stazione (analisi sull'intero database).

I tratti sottesi alle derivazioni e alle restituzioni di acque per le centrali idroelettriche sono stati anche caratterizzati mediante la descrizione delle comunità biologiche di macroinvertebrati, macrofite e diatomee. La tabella 2.4 riporta i valori medi stagionali per tratto fluviale degli indici di qualità derivati. Tali indici non sono stati confrontati con le % DMV sperimentate perché le comunità che sono state campionate non cambiano in ragione della variazione di breve termine della portata a eccezione di eventi estremi quali secche o piene. In regime di portate ordinarie le comunità richiedono di più tempo per strutturarsi e adattarsi alle nuove condizioni idromorfologiche (es. creazione di nuovi microhabitat). Per questo motivo per tutte le stagioni è stata ipotizzata la % di DMV del 5%, percentuale garantita nel periodo in cui non si svolge la sperimentazione.

Tab. 2.4 – Valori medi stagionali degli indici biologici nei tratti sottesi alle centrali idroelettriche (dati dei 3 anni di sperimentazione). La % DMV da associare è il 5% in tutte le stagioni in quanto in condizioni normali, al di fuori del periodo di progetto, tale % è quella garantita.

Tratto	Stazione	media estiva			media autunnale		media invernale	media primaverile
		STAR ICMi – ISA	EQR_IBMR	ICMi	STAR ICMi – ISA	ICMi	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA
OGS_1_1B	STA03	0,62	0,73		0,65		0,31	0,68
OGS_1_2B	STB06	0,40	0,88		0,24		0,39	0,43
OGS_1_3B	STC08	0,45	0,86	0,92	0,69	0,85	0,59	0,56
OGS_1_4B	STD14		0,72					
OGS_1_5B	STE18	0,55	0,73		0,53		0,57	0,24
OGS_1_7B	STF26	0,76	0,89	0,85	0,84	0,87	0,68	0,56

Quanto alla componente macrofitica, la valutazione ottenuta dall'applicazione dell'EQR_IBMR classifica i tratti in due classi distinte: in stato sufficiente i tratti OGS_1_1B, OGS_1_4B e OGS_1_5B, in uno stato buono i rimanenti OGS_1_2B, OGS_1_3B e OGS_1_7B. Tutti i sei tratti sono caratterizzati da una netta predominanza di specie macroalgali, le disparità osservate sono da imputare ai taxa dominanti: nel caso dei tre tratti in stato sufficiente la specie guida è rappresentata da *Cladophora glomerata*, mentre nelle stazioni classificate in stato buono sono altre le specie macroalgali che connotano le cenosi (ad es. *Lyngbya* sp., *Spirogyra* sp.) a eccezione della stazione OGS_1_7B caratterizzata dalla sola *C. glomerata* e da pochissime altre specie compagne. In tal caso la presenza di una comunità di produttori primari ampiamente destrutturata e poco rappresentata è stata valutata positivamente dall'indicatore EQR_IBMR; in realtà, come evidenziato in base ai risultati ottenuti dall'analisi delle comunità di macroinvertebrati e diatomee presenti nel sito, questo tratto è da considerarsi il peggiore tra tutti quelli analizzati.

In sintesi, quindi, la stazione STF26, o tratto OGS_1_7B, presenta condizioni di qualità migliori rispetto agli altri tratti: stato buono in estate e in autunno, in coincidenza dell'interazione del fiume con le acque di falda, e sufficiente in inverno e in primavera. Lo stato di qualità dei restanti tratti è determinato essenzialmente dalla comunità di macroinvertebrati oscilla tra sufficiente e scarso, in particolare la stazione STB06 o tratto OGS_1_2B risulta quello nello stato peggiore di conservazione (scadente). La stazione di campionamento STB06 è ubicata in un tratto a monte di una briglia e per questo motivo presenta caratteristiche tipiche di un ambiente lentico e assimilabile alle stazioni considerate bacinizzate (capitolo 1, paragrafo 1.2.1). Tali considerazioni sono in contrasto con la valutazione offerta dall'EQR_IBMR che classifica questo tratto in uno stato mediamente buono (EQR_IBMR = 0,88) valutazione che è motivata non tanto alla diffusione di comunità a macrofite scadenti e/o a densi ammassi macro-algali ma quanto alla scarsa presenza di macrofite data dalla peculiarità della sezione del tratto.

10.1 CONCLUSIONI

La percentuale di saturazione dell'ossigeno (O_2%), la conducibilità, l'azoto ammoniacale e il LIMeco sono risultati essere dipendenti in modo statisticamente significativo dalla quantità di acqua in transito nei tratti fluviali indagati. Indipendentemente dalla stagione e dal tratto in analisi, l'O_2% è aumentato passando dal 95% al 110% all'aumentare delle % di deflusso dal 5% a > del 25%. Questo intervallo di O_2% indica, comunque, un'ottima ossigenazione del sistema in entrambi i casi, sia a bassi scenari di sperimentazione (ove il flusso dell'acqua ha caratteristiche decisamente lotiche e le acque tendono a raggiungere il 100% di saturazione nella condizione di equilibrio) che in presenza di scenari superiori, tipici di condizioni di piena o di abbondanza idrica. Infine il confronto tra le %O_2 delle stazioni nei tratti sottesi con le rispettive stazioni nei tratti bacinizzati di monte (dati non riportati) mostra la tendenza ad avere valori più elevati nelle stazioni di monte in estate e in primavera dove è maggiore la componente macrofitica, mentre valori più bassi in inverno quando prevale il processo respiratorio su quello fotosintetico.

Anche la conducibilità tende ad aumentare all'aumentare della % del DMV transitante in fiume. Banalmente le percentuali di deflusso più elevate sono probabilmente quelle coincidenti con eventi di piena e con i periodi di pioggia che apportano inquinanti e stimolando il runoff aumentano il tenore in ioni nelle acque. La stazione STF26 presenta valori di conducibilità maggiori in tutte le stagioni e in tutti gli scenari a indicare una deviazione significativa dalle condizioni di contorno che caratterizzano tutto il tratto OGS_1 con ogni probabilità da imputare all'ingressione di acque di falda. Ciò è rinforzato dal confronto tra i valori di conducibilità misurati nelle stazioni di monte, bacinizzate, e quelli delle rispettive stazioni sottese che indica una buona corrispondenza tra coppie di stazioni a eccezione della stazione STF26 nella stagione estiva, che presenta valori decisamente maggiori rispetto alla stazione di monte FN25A.

L'azoto ammoniacale è risultato dipendere dall'interazione tra deflussi in alveo e stagione di campionamento. Anche per questo parametro, come discusso per l'ossigeno, le concentrazioni misurate va-

riano in un intervallo molto contenuto, con valori sempre inferiori a 0.2 mg l^{-1} e quindi assolutamente lontani da qualsiasi rischio di tossicità per la vita acquatica. In estate le concentrazioni di azoto ammoniacale sono maggiori nello scenario del 5% e tendono a diminuire con l'aumentare dei deflussi in alveo, ciò è probabilmente influenzato dal processo di nitrificazione, massimo in condizioni di elevata ossigenazione e turbolenza o dalla maggiore diluizione. La stagione primaverile presenta valori di concentrazione maggiori rispetto alle altre stagioni; è possibile che tale risultato dipenda dai processi nel lago di Iseo, non ultime le fasi di rimescolamento anche parziale e ricircolo dei nutrienti ipolimnici. Gli andamenti delle concentrazioni di azoto ammoniacale in primavera e in autunno all'aumentare delle % di DMV sono simili ma le concentrazioni autunnali sono molto più basse, probabilmente sia per effetto della diluizione che per la minore attività batterica di ammonificazione o degradazione della sostanza organica. Infine, il confronto tra concentrazioni nelle stazioni di monte e quelle delle stazioni sottese evidenza la possibile influenza degli scarichi di impianti di trattamento di acque reflue urbane. Banalmente, c'è una tendenza ad avere concentrazioni maggiori nei tratti bacinizzati rispetto a quelli sottesi se lo scarico è diretto nei tratti bacinizzati e viceversa concentrazioni maggiori nei tratti sottesi se lo scarico è nel tratto sotteso.

La significatività della dipendenza del punteggio LIMeco dalla % di DMV è funzione dell'O_2% e della concentrazione di azoto ammoniacale. Passando dal 5% a scenari > del 25% si osserva un aumento del punteggio del LIMeco, nonostante questo aumento non si concretizzi in un salto di classe. La qualità espressa dall'indice è elevata con la eccezione del tratto che include la stazione STF26 (stato buono, in particolare a basse % di DMV per il maggior apporto di azoto nitrico derivante dalle acque di falda).

I dati acquisiti nel corso dei primi tre anni di sperimentazione limitatamente al tratto regolato e a un numero ristretto di parametri, chiariscono che a un aumento delle portate in transito non corrisponde un miglioramento dello stato di qualità del fiume (in termini di LIMeco). Il tratto indagato infatti si colloca immediatamente a valle di un grande sistema lacustre che per definizione ha volumi d'acqua tali da tamponare variazioni nel chimismo o associate ai processi biologici. Rilasci variabili dal lago quindi si traducono in diverse masse d'acqua con composizione chimica tutto sommato simile a quella del lago e indipendente dalle derivazioni. Ribadiamo che una eccezione al riguardo è rappresentata dalla stazione STF 26 che è influenzata dai rapporti fiume-falda. Un'altra importante considerazione riguarda l'effetto netto degli scarichi diretti dei diversi depuratori in fiume. Ci saremmo attesi una maggiore ampiezza di parametri chimici "sensibili" come ossigeno, azoto inorganico, fosforo, COD e solidi sospesi in prossimità degli scarichi e al variare del regime di deflusso. Il fatto che i risultati sperimentali disattendano quanto prefigurato suggerisce che in termini di rapporti relativi tra carichi sversati e capacità di diluizione questo tratto iniziale del fiume non presenti particolari criticità. Neppure nelle stazioni prossime allo scarico di un depuratore tra i più grandi dell'intera area (Paratico, ~80,000 abitanti equivalenti).

La variabilità meteo-climatica testata nel corso del triennio di sperimentazione non ha permesso di disporre di dati bilanciati da sottoporre ad analisi statistica per la verifica delle ipotesi di progetto. Ciò è stato determinato dalle particolari condizioni meteo-climatiche, appunto, e da quelle di abbondanza idrica che ne sono conseguite. Condizioni che non hanno sempre permesso di rispettare nei tratti sottesi alle derivazioni idroelettriche le % di DMV più basse. Quest'ultimo è il caso delle Centrali Tagliuno (stazione STC08) ed Urago (stazione STF26) che, come si nota nei grafici riportati nel presente capitolo, non hanno garantito i rilasci dello scenario del 5% e un numero sufficientemente rappresentativo di repliche per gli scenari del 7.5% e 10% (con un numero di repliche che di fatto sono circa 1/5 rispetto a quelle relative agli scenari del 15, 20 e > del 25%). All'opposto le altre stazioni fluviali o tratti sottesi hanno presentato nel medesimo periodo di sperimentazione un numero assai scarso di repliche per gli scenari del 20% e > del 25%.

Dall'analisi dei dati raccolti nei 3 anni di progetto è comunque possibile suggerire alcuni indicazioni di carattere gestionale:

- Alcuni parametri idrochimici (conducibilità, azoto inorganico, fosforo particellato) non mostrano variazioni significative tra tratto fluviale di monte e settori sottesi. In questo caso l'aumento o la diminuzione della portata sembra non influire sui processi di ritenzione, accumulo o trasformazione di tali composti.

- I tratti sottesi influenzati dalle acque di falda inquinate da nitrato, come quello in cui si colloca la stazione STF26, dovrebbero essere trattati separatamente. Tale tratto è caratterizzato dal numero di repliche maggiori in condizioni di % di DMV comprese tra 15 e > del 25% e, nonostante questo, l'influenza della falda è evidente, sia in termini di concentrazione di alcuni parametri (conducibilità, nitrato e DIC) sia come comportamento generale del tratto comparato agli altri tratti sottesi indagati. In tal caso si rendono necessari studi di dettaglio per valutare se all'aumento delle portate in transito corrisponda una ricarica della falda con acque fluviali e una minore restituzione di acque con caratteristiche chimiche completamente distinte.

- Con particolare riferimento ai deflussi nei tratti sottesi e bacinizzati caratterizzati dalla presenza di scarichi di impianti di depurazione potrebbe essere interessante testare futuri scenari in cui sono estremizzate le portate minime al fine di individuare soglie oltre le quali l'impatto sulle acque è misurabile.

Ulteriori approfondimenti si rendono necessari per potere definire la % di DMV da far transitare nei tratti sottesi alle centrali idroelettriche. Tali studi, oltre a conservare il disegno sperimentale proposto e attuato nei primi 3 anni di progetto in modo da ampliare la mole di dati disponibili,dovrebbero cercare di rispettare gli scenari di progetto in modo da garantire lo stesso numero di repliche per scenario e quindi un dataset bilanciato. Per le stazioni STA03 (OGS_1_1B - Centrale Castelmontecchio), STB06 (sottotratto OGS_1_2B - Centrale Capriolo), STD14 (sottotratto OGS_1_4B - Centrale Palazzolo) e STE18 (sottotratto OGS_1_5B - Centrale Palosco), per le quali gli impianti sono in grado di mantenere % di DMV sperimentali basse, sarebbe opportuno garantire il proseguimento dello studio degli scenari di sperimentazione dei 3 anni di progetto e, in virtù del fatto che il LIMeco si attesta sullo stato elevato e il sistema non ha presentato condizioni critiche di inquinamento, sarebbe opportuno provare a testare anche lo scenario del 3%. In effetti l'obiettivo del progetto è di definire il deflusso minimo vitale, ma in questi tre anni è evidente che il limite soglia non è stato trovato in relazione alla concentrazione di inquinanti. Sarebbe opportuno testare lo scenario del 3% nella stagione estiva sia perché è di fatto la stagione dove potrebbero accadere eventi di crisi idrica e quindi di siccità, sia perché le elevate temperature e le condizioni stagionali estive stimolano il metabolismo batterico e favoriscono lo sviluppo delle comunità vegetali. Per le stazioni STC08 (OGS_1_3B - Centrale Tagliuno) e STF26 (OGS_1_7B - Centrale Urago) che insistono invece a valle di impianti con una minore capacità di modulazione delle portate, si propone di proseguire con gli scenari di progetto eliminando il 5%; scenario che dovrebbe essere testato solo se si presentasse una crisi idrica sufficiente a garantirlo. In corrispondenza di queste due stazioni si potrebbero, invece, testare in estate % di DMV maggiori al fine di indagare l'effetto diluizione in due tratti fluviali caratterizzati rispettivamente da una minore e da una maggiore influenza delle acque di falda inquinate da nitrato.

I risultati relativi al comparto biotico mettono in evidenza un certo grado di destrutturazione delle comunità, parzialmente messo in luce dagli indici di qualità. Più in specifico, nel tratto di fiume Oglio interessato dalla presenza delle centrali idroelettriche mancano alcuni elementi che potrebbero in linea teorica favorire la presenza di comunità ben strutturate e più ricche in specie. Di fatto i risultati riconoscono il ruolo centrale delle caratteristiche idromorfologiche nell'indirizzare la suddivisione del primo tratto di fiume in tratti bacinizzati e sottesi, caratterizzati da comunità biologiche ben distinte. Questi tratti presentano al loro interno diverse criticità quali scarsa varietà di microhabitat (intesi come combinazione di tipo di substrato e tipologia di flusso), limitata possibilità di movimenti laterali del fiume e

conseguente colonizzazione di nuovi microhabitat, bassa eterogeneità idrologica (velocità della corrente e profondità), scarsa interazione con le fasce riparie (ove presenti).

Dal punto di vista prettamente fisico ogni microhabitat risulta costituito da una combinazione unica di substrato (minerale, organico) e idrologia (ad esempio velocità e profondità dell'acqua). In letteratura la presenza di una elevata eterogeneità di microhabitat viene associata ad una maggiore diversità (Allan e Castillo, 2007). La presenza di una certa eterogeneità di microhabitat e di una buona qualità dell'acqua, infatti, favorisce in linea teorica l'affermarsi di un maggior numero di taxa a causa della presenza di un numero maggiore di nicchie ecologiche (sensu Hutchinson) colonizzabili dagli organismi acquatici. In un recente lavoro di revisione degli effetti di progetti di "restoration ecology" finalizzate all'aumento della biodiversità attraverso l'aumento dei microhabitat disponibili, Palmer et al (2009) hanno messo in evidenza come tale aumento sia solo uno dei fattori che concorrono all'incremento del numero di specie. Altri fattori, infatti, sono la variabilità del regime di portata, la disponibilità di differenti risorse trofiche e la diversità di specie a livello regionale. La presenza e l'integrità delle fasce riparie sembra inoltre assumere un ruolo importate, in particolare per la creazione di microhabitat specifici (dovuti all'effetto dell'ombreggiamento, alla propria struttura fisica, presenza di radici, ecc.) e per fornire risorse alimentari alternative che favoriscono certi tipi di forme biologiche.

Nel caso specifico del fiume Oglio sublacuale lo studio dei tratti sottesi alle captazioni ha evidenziato una certa variabilità delle condizioni idrologiche, ma non di quelle di microhabitat. Anche qui è stato infatti possibile evidenziare una suddivisione in tratti con caratteristiche lotico-ritrali (OGS_1_1B, OGS_1_3B) e tratti con caratteristiche lentiche (OGS_1_2B, OGS_1_5B). Il tratto OGS_1_7B presenta inoltre un'interazione con la falda distinguibile sia dall'analisi delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque che di quelle biologiche. In questo contesto riuscire a discriminare gli effetti della gestione dei deflussi in alveo da quelli dovuti alle caratteristiche idromorfologiche del sistema risulta difficile, alla luce anche dei tempi di risposta delle comunità biologiche a cambiamenti graduali, e quindi non catastrofici, delle portate. Allo stato attuale delle cose, ad esempio, l'aumento delle portate non si traduce in un effettivo aumento delle superfici colonizzate a causa degli impedimenti strutturali dovuti alle condizioni fortemente artificializzate del tratto di fiume considerato. È da ricordare inoltre che gli scenari di portata utilizzati sono stati mantenuti per un periodo troppo breve che non consente l'adattamento delle comunità ai nuovi regimi di flusso.

Gli indici preposti alla valutazione dello stato di qualità del corso d'acqua non sono in grado di cogliere gli effetti indotti da modulazioni di breve termine del deflusso nel fiume Oglio sublacuale, anche perché non tarati specificatamente per questa tipologia di studi. Le valutazioni della qualità delle acque nel tratto di fiume interessato dalle centrali idroelettriche mettono ancora una volta in evidenza l'importanza delle caratteristiche idromorfologiche, con valori in genere minori nei tratti bacinizzati.

Questo studio ha consentito di:

- approfondire le conoscenze tassonomiche sulle comunità biologiche (macrofite, macroinvertebrati, pesci, diatomee) del fiume Oglio sublacuale e in particolare sul tratto di fiume interessato dalle centrali idroelettriche.
- ottenere una robusta base di dati;
- identificare le criticità del sistema che influiscono sulla struttura delle comunità e, di conseguenza, sul giudizio di qualità espresso dagli indici biologici.

Non è stato possibile distinguere tra influenza del regime di portate e caratteristiche idromorfologiche del sistema a causa del disegno sperimentale adottato e almeno in parte alle caratteristiche attuali del sistema. Tali considerazioni possono pertanto risultare dei temi di approfondimento per il prossimo triennio di sperimentazione.

11. CONSIDERAZIONI FINALI

La sperimentazione ha rappresentato una occasione unica per implementare un quadro conoscitivo carente, limitato a poche stazioni monitorate che non includevano segmenti importanti per le dinamiche fluviali. Oltre a 17 descrittori di tipo fisico chimico, sono stati monitorati in un contesto organico di indagine i macroinvertebrati, le macrofite, i pesci e le diatomee. Le attività sono state svolte seguendo protocolli ufficiali, implementati nella maggior parte dei casi da ulteriori approfondimenti; i risultati sono quindi confrontabili non solo con quelli pregressi ma soprattutto con quelli generati nell'ambito di altre sperimentazioni condotte in modo simile.

Il database generato è stato analizzato in modo scrupoloso, ricorrendo alla indicizzazione dei risultati e a test statistici rigorosi. Nel prossimo futuro emergeranno ulteriori stadi di analisi dei dati, ad esempio incrociando i diversi campi di indagine con lo scopo di mettere in luce relazioni nascoste tra regime idrologico, processi interni al sistema fluviale e comunità biotiche.

Il programma triennale di lavoro è stato rispettato. Le analisi di tipo quantitativo tra portate e qualità del sistema fluviale sono state possibili solo per i descrittori di tipo fisico-chimico in quanto in grado di rispondere nel breve termine alle modulazioni di portata. Queste analisi non hanno evidenziato, nei range di portate testate, variazioni significative della qualità dell'acqua all'aumentare o al diminuire delle portate. Le variazioni registrate infatti, si sono mantenute all'interno di range estremamente contenuti (ad esempio l'ossigeno disciolto o l'ammonio, entrambi correlati alle portate su valori lontani dalle soglie di ipossia o tossicità). Per quanto riguarda le componenti biologiche in senso lato la sperimentazione ha consentito di evidenziare pattern importanti legati al regime idrologico ma lo sforzo effettuato non consente al momento di legare le comunità alle modulazioni del deflusso. In questo senso il tipo di sperimentazione effettuata non è adatta allo scopo. Appaiono in questo senso utili implementazioni dei metodi proposti che includano aspetti di tipo modellistico o analisi degli habitat teorici in relazione alle sezioni bagnate.

Occorre a nostro parere attuare quanto prima un confronto critico sul reale significato degli indicatori e sulla reale valenza del loro uso nei progetti di sperimentazione. Un acritico utilizzo rischia infatti di appiattire differenze o di non far emergere differenze apparentemente ovvie legate ai diversi scenari. Più in specifico, l'utilizzo di pochi indicatori per classificare la qualità delle acque sembra rischioso. Nel caso del fiume Oglio sublaculae l'inquinamento da nitrati sembra avere una origine ben precisa e non direttamente dipendente dal regime di portate. Le nostre analisi hanno individuato nel rapporto variabile su base stagionale fiume-falda un anello debole del sistema, con forte alimentazione esiva del sistema con acque di scarsa qualità. Un problema nel problema è il conflitto da chiarire tra le implicazioni (positive) di acque fredde in alveo per alcune popolazioni ittiche e di macroinvertebrati e alcune essenze vegetali e quelle (negative) legate all'arricchimento da azoto.

L'esperienza accumulata nel triennio permetterà di riformulare in parte la proposta originale di sperimentazione, in un direzione tale da mantenere invariata l'impalcatura e le modalità di monitoraggio, diradando le stazioni ridondanti per liberare energie e risorse da destinare alle nuove domande. Tra queste appare indispensabile potenziare il potere predittivo delle analisi sulla componente biologica nella direzione di individuare semplici relazioni causa effetto che leghino deflussi e comunità. In questo senso appare indispensabile allungare i periodi in cui le portate sono modulate e analizzare gli habitat. Per quanto riguarda i parametri fisico-chimici nuove indicazioni potrebbero emergere dall'estremizzazione verso il basso delle portate e da una analisi focalizzata al tratto in cui l'interazione fiume-falda è massima.

Bibliografia

Allan J.D. & Castillo M.M. (2007) Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. 436 pp. Springer, Dordrecht, the Netherlands.

Crawley M.J. (2007). The R book. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 942 pp.

Palmer M.A., Menninger H.L. & Bernhardt E. (2010) River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? Freshwater Biology, 55(Suppl. 1), 205–222.

12. ALLEGATO 1

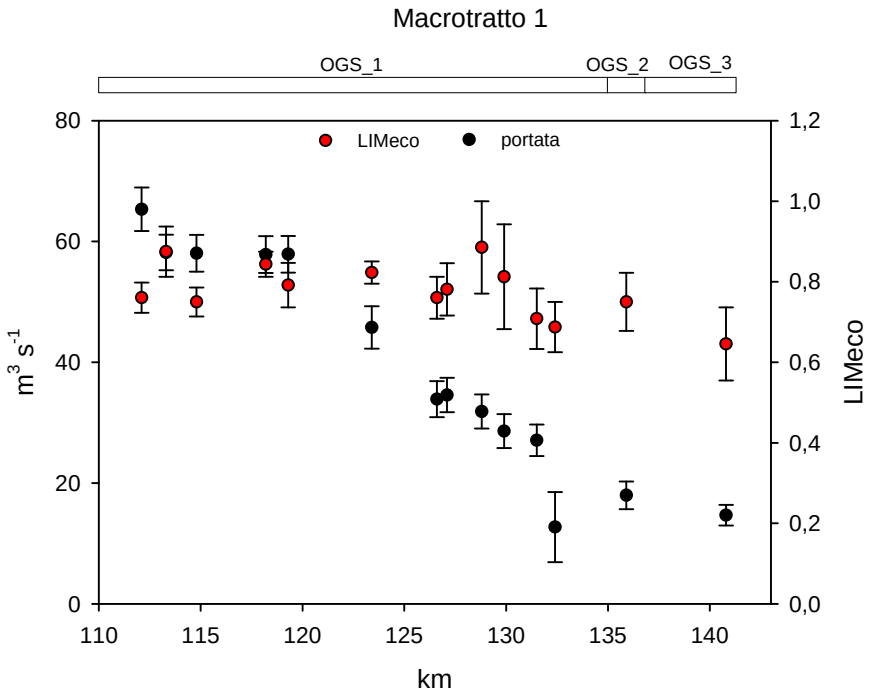

Fig. I –Valori medi della stagione estate per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 112 al km 142 corrispondente al Macrotratto 1 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

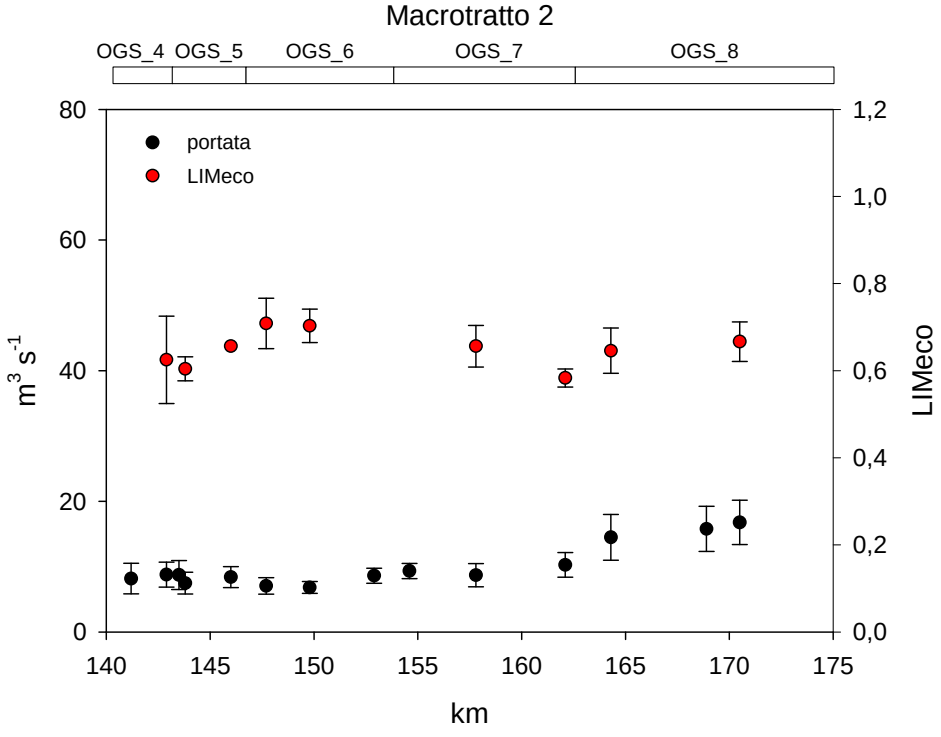

Fig. II –Valori medi della stagione estate per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 142 al km 175 corrispondente al Macrotratto 2 definito con l'analisi PCA

sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

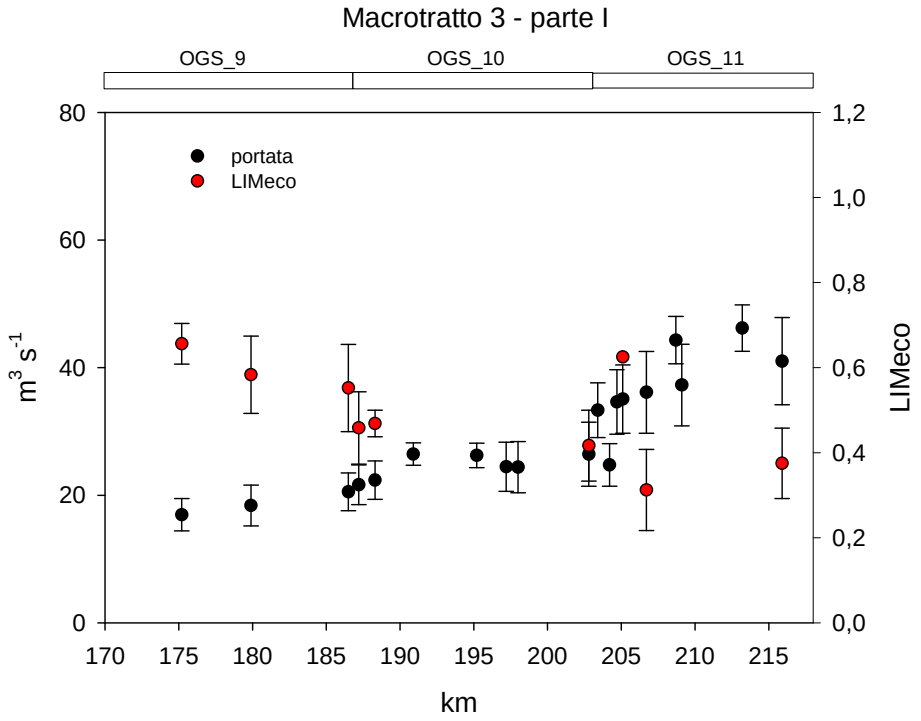

Fig. III –Valori medi della stagione estate per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 175 al km 215 corrispondente alla prima parte del Macrotratto 3 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità.

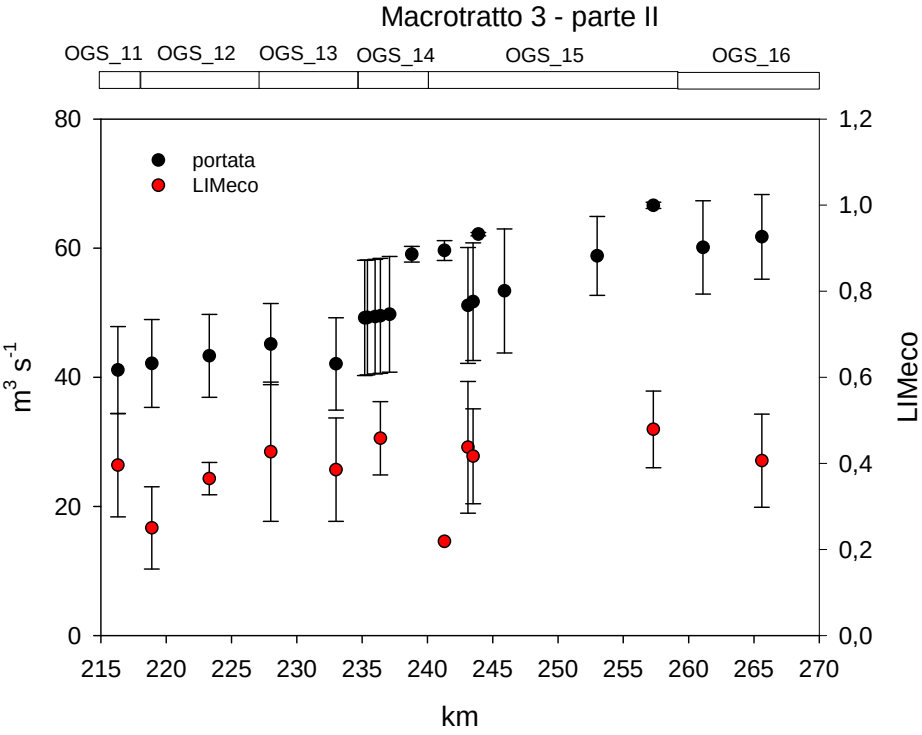

Fig. IV –Valori medi della stagione estate per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 215 al km 267 corrispondente alla seconda parte del Macrotratto 3 de-

finito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

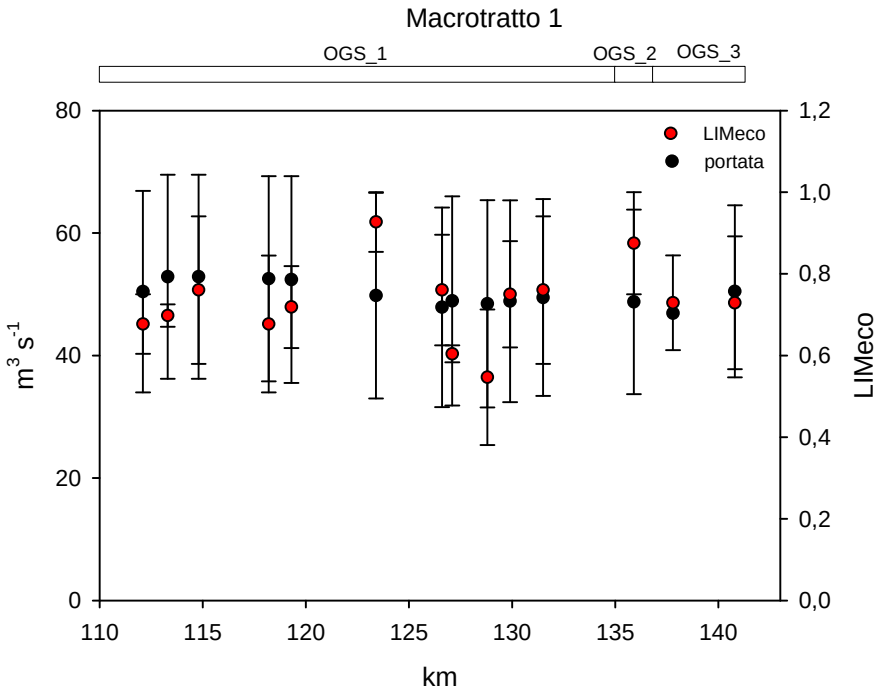

Fig. V –Valori medi della stagione autunno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 112 al km 142 corrispondente al Macrotratto 1 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

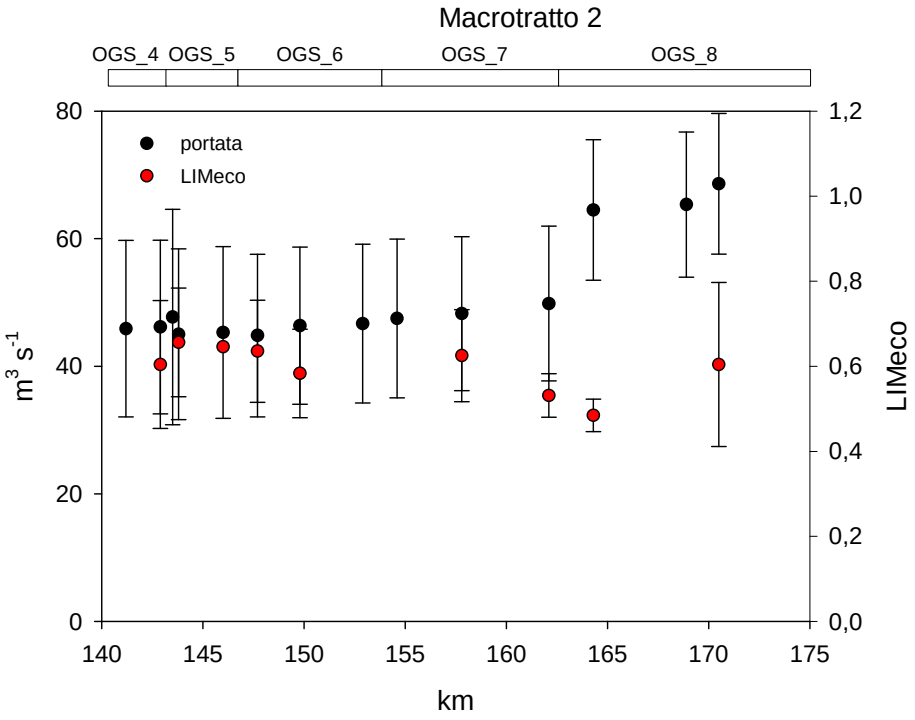

Fig. VI–Valori medi della stagione autunno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 142 al km 175 corrispondente al Macrotratto 2 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

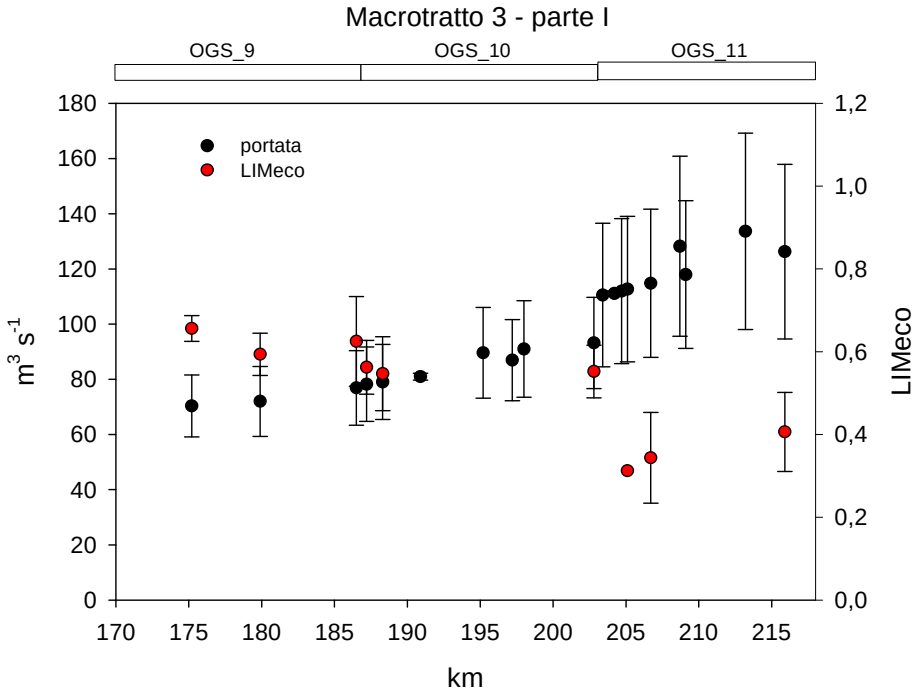

Fig. VII –Valori medi della stagione autunno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 175 al km 215 corrispondente alla prima parte del Macrotratto 3 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità.

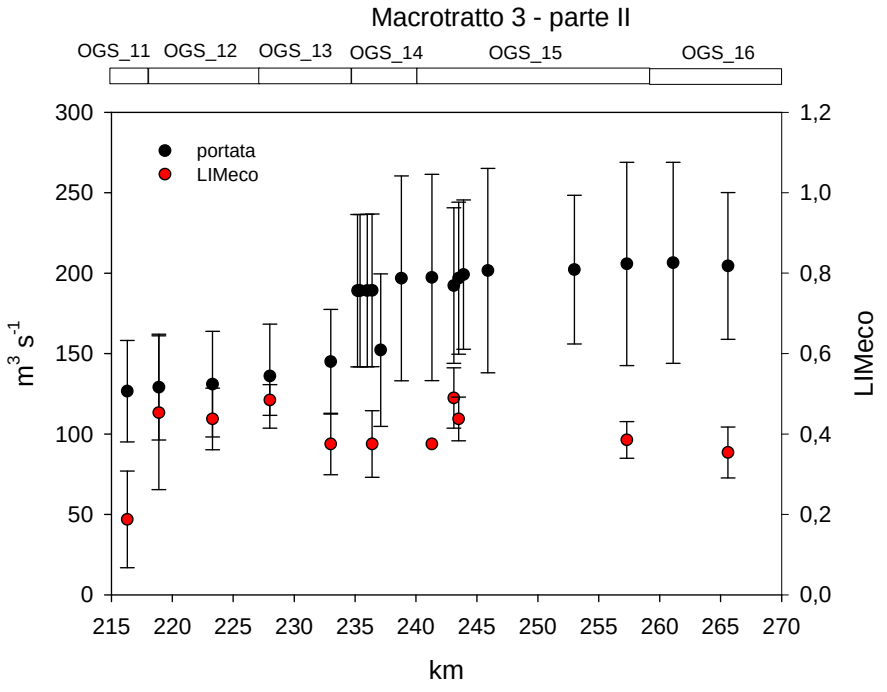

Fig. V III–Valori medi della stagione autunno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 215 al km 267 corrispondente alla seconda parte del Macrotratto 3 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

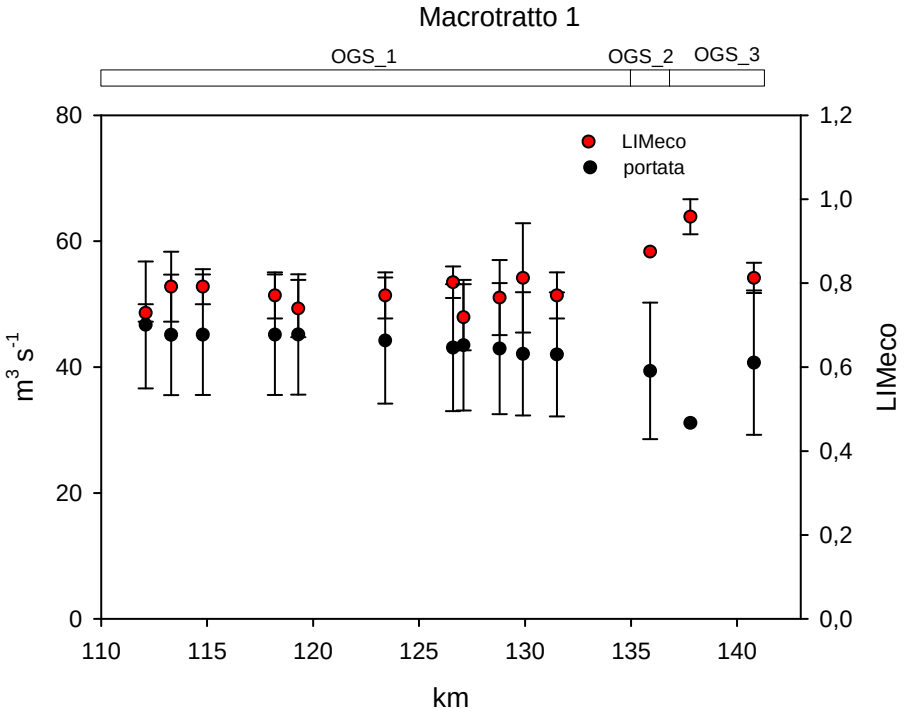

Fig. IX–Valori medi della stagione inverno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 112 al km 142 corrispondente al Macrotratto 1 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

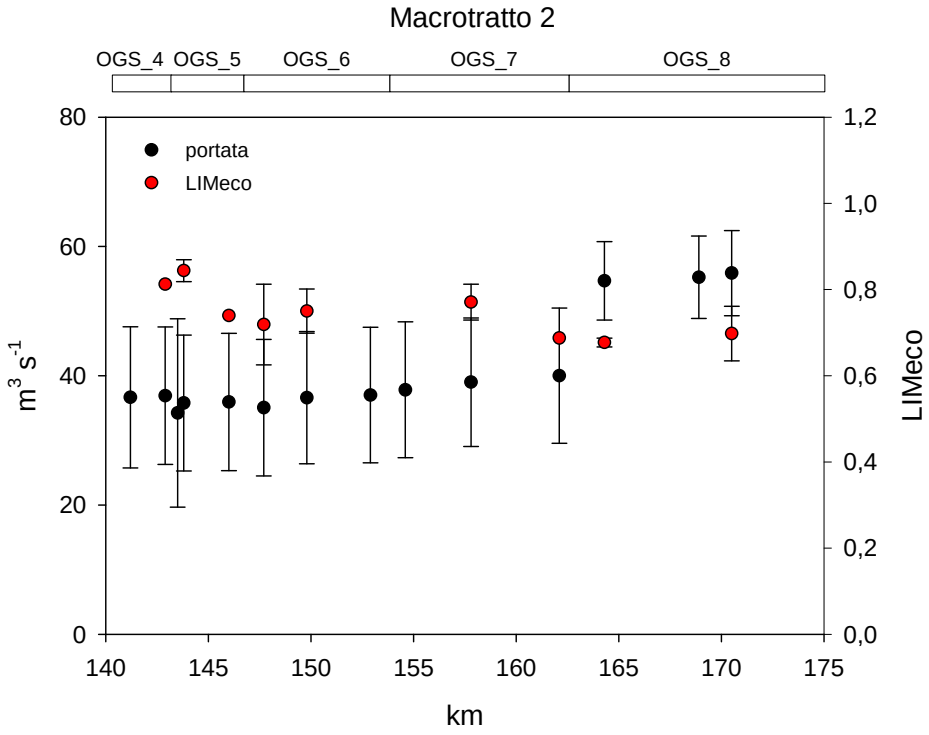

Fig. X –Valori medi della stagione inverno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 142 al km 175 corrispondente al Macrotratto 2 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

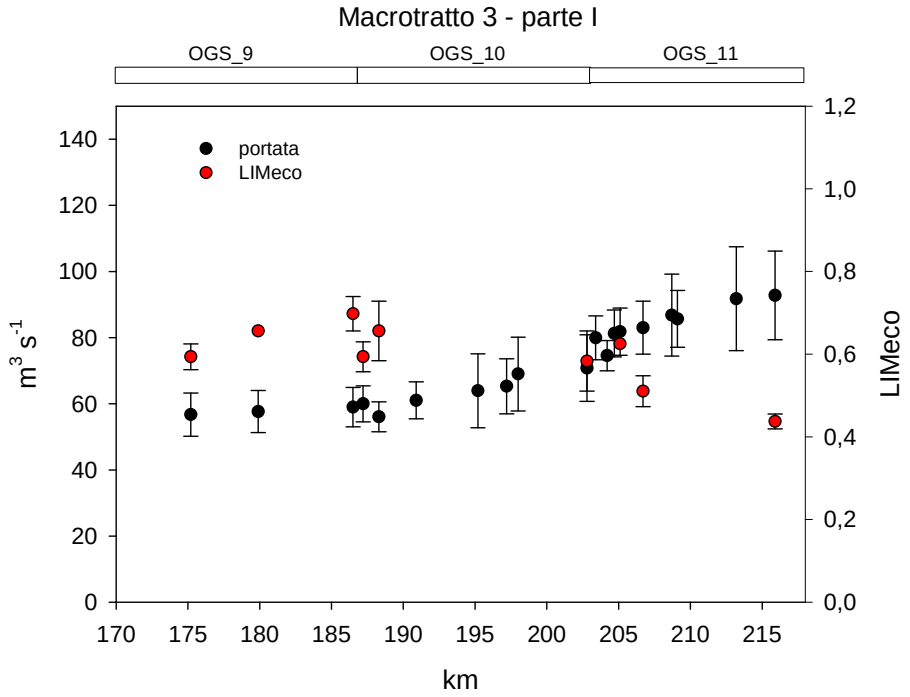

Fig. XI –Valori medi della stagione inverno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 175 al km 215 corrispondente alla prima parte del Macrotratto 3 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità..

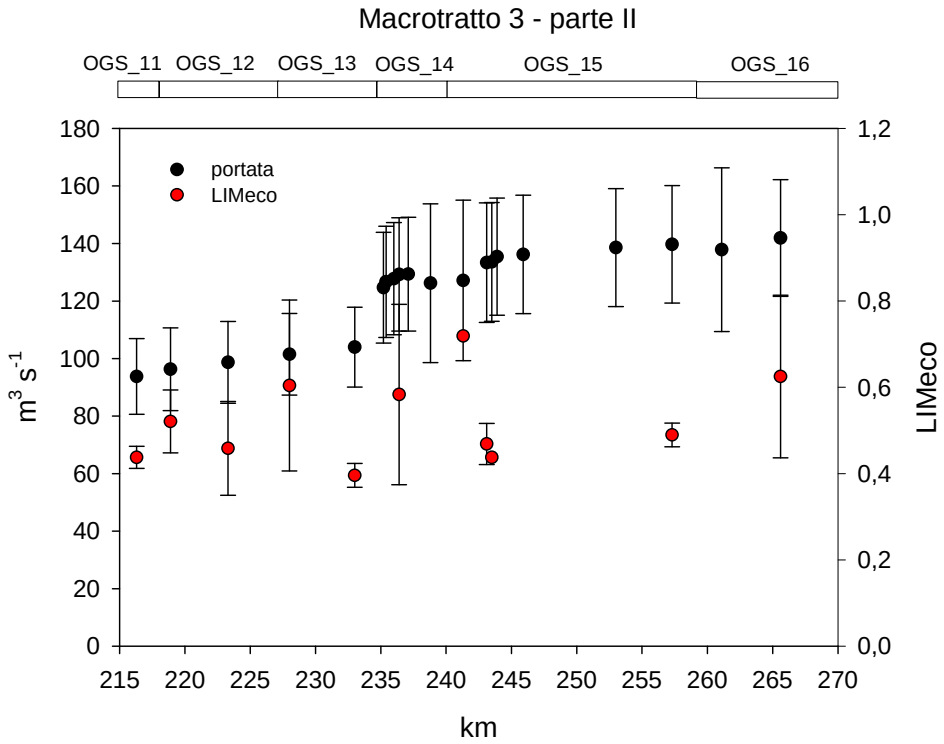

Fig. XII –Valori medi della stagione inverno per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 215 al km 267 corrispondente alla seconda parte del Macrotratto 3 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità.

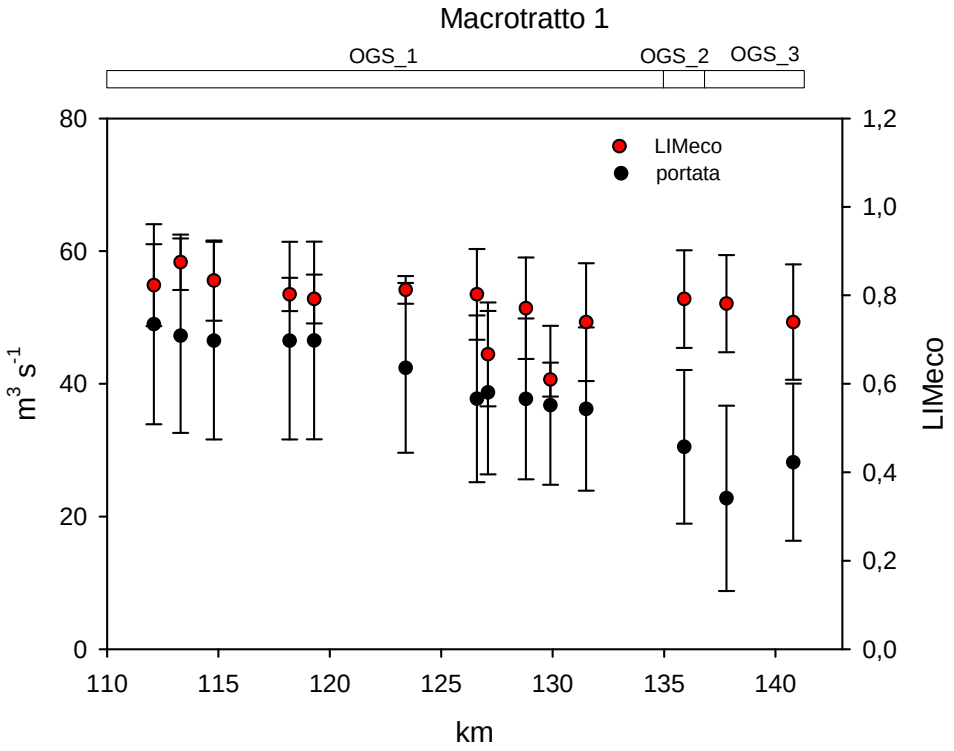

Fig. XIII –Valori medi della stagione primavera per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 112 al km 142 corrispondente al Macrotratto 1 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

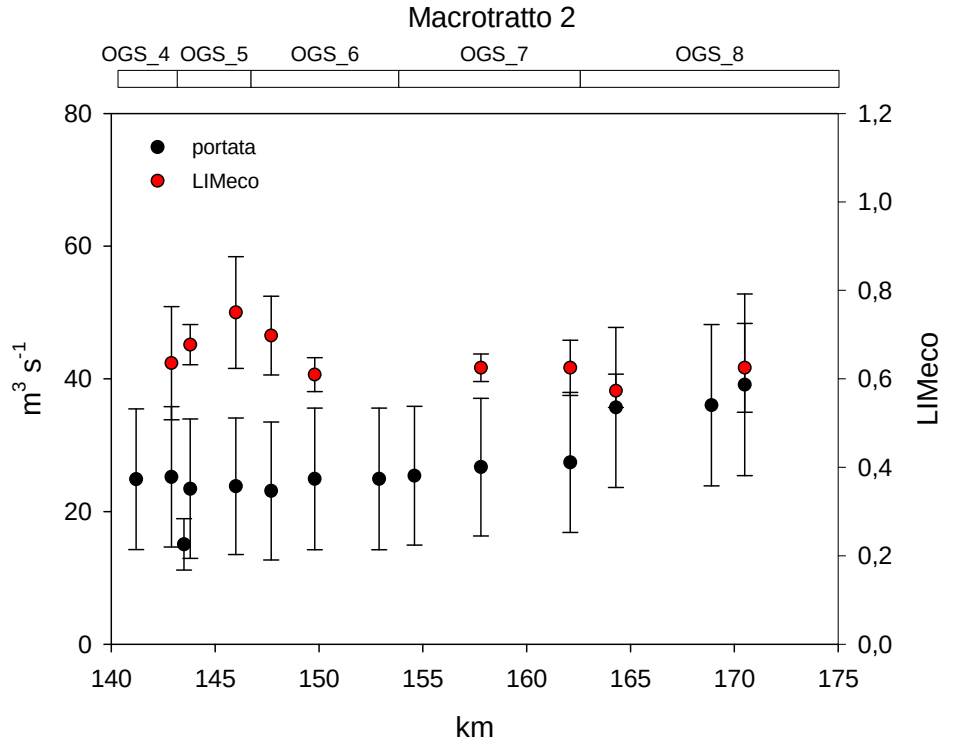

Fig. XIV –Valori medi della stagione primavera per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 142 al km 175 corrispondente al Macrotratto 2 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità.

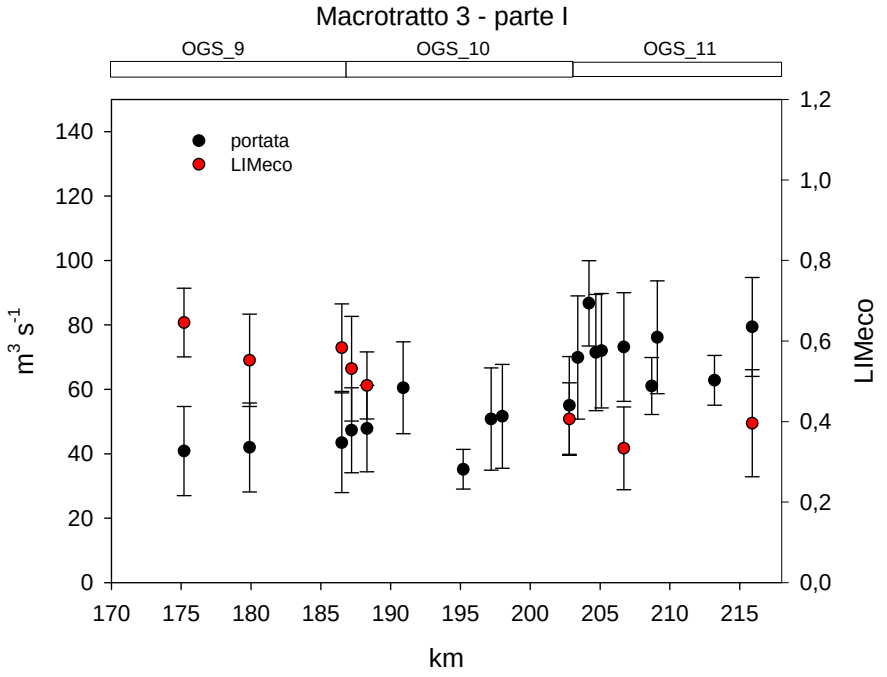

Fig. XV –Valori medi della stagione primavera per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 175 al km 215 corrispondente alla prima parte del Macrotratto 3 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità.

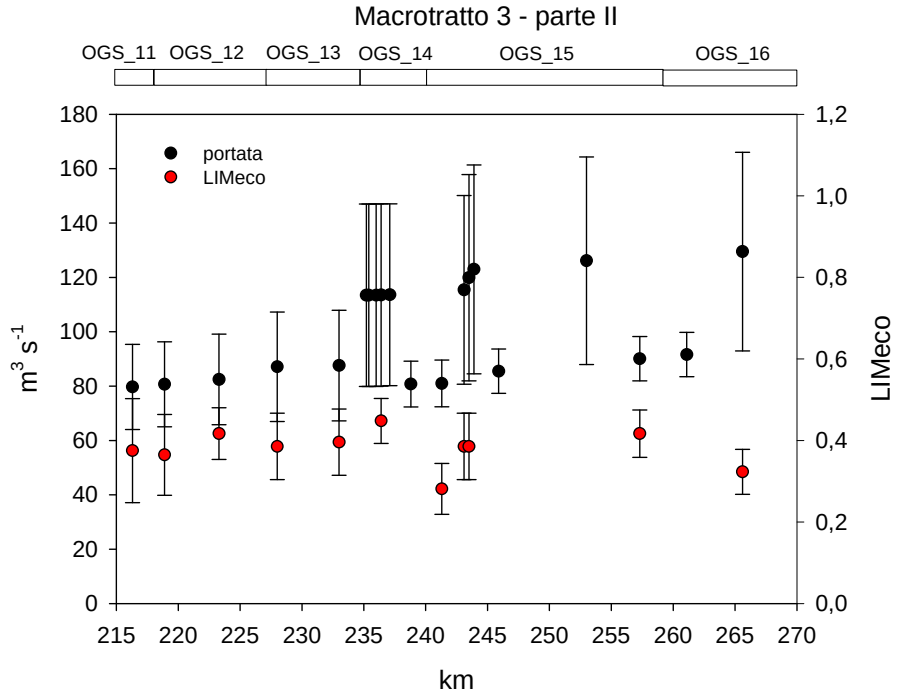

Fig. XVI –Valori medi della stagione primavera per stazione di campionamento: valori di portata e punteggio dell'indice LIMeco dal km 215 al km 267 corrispondente alla seconda parte del Macrotratto 3 definito con l'analisi PCA sui dati idrochimici. In alto al grafico sono riportati i limiti dei tratti fluviali definito con l'analisi morfologica e delle discontinuità

Tab. II - Valori dell'indice STAR, per i campioni ottenuti con l'utilizzo del retino surber, e dell'ISA, per i campioni ottenuti con i substrati artificiali, per tratto fluviale per le 12 campagne di misura.

Campagna di misura e scenario, indice per tratto				n°1/09 estate 5%	n°2/09 autunno 15%	n°3/10 inverno 15%	n°4/10 primavera 15%	n°5/10 estate 5%	n°6/10 autunno 15%	n°7/11 inverno 15%	n°8/11 primavera 10%	n°9/11 estate 5%	n°10/11 autunno 15%	n°11/12 inverno 15%	n°12/12 primavera 15%
Tratto	Sottotratto	km tratto	Stz	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA	STAR ICMi – ISA
OGS_1	1A	110,9	FN01A	0,54	0,43	0,35	0,44	0,41	0,22	0,38	0,44	0,45	0,40	0,29	
OGS_1	1B	112,1	STA03												
OGS_1	2A	113,3	FN04A												
OGS_1	2B	114,0	STB06												
OGS_1	3A	114,6	FN07A												
OGS_1	3B	115,7	STC08												
OGS_1	4A	117,8	FN09A												
OGS_1	4A		FN11A												
OGS_1	4B	119,7	STD12												
OGS_1	4B		STD14												
OGS_1	5A	122,7	FN15A												
OGS_1	5B	124,2	STE16												
OGS_1	5B		STE18												
OGS_1	6A	125,7	FN19A												
OGS_1	6A		FN21A												
OGS_1	7A	128,6	FN22A												
OGS_1	7A		FN24A												
OGS_1	7A		FN25A												
OGS_1	7B	131,6	STF26												
OGS_2		135,1	FN27A	0,66	0,77	0,48	0,48	0,56	0,23	0,38	0,45	0,70	0,49	0,34	
OGS_3		136,4	FN28A	0,70	0,88	0,50	0,49	0,62	0,23	0,38	0,45	0,81	0,49	0,34	
OGS_3			FN30A												
OGS_3			FS30B												
OGS_4		141,3	FS31A	0,73	1,00	0,53	0,51	0,68	n.r.	n.r.	0,44	0,91	n.r.	n.r.	
OGS_4			FS32B												
OGS_5		143,6	FS33A	0,73	1,02	0,53	0,51	0,68	0,28	1,00	0,56	0,82	0,87	1,06	
OGS_5			FS35A												
OGS_6		147,2	FS36A	0,73	1,04	n.r.	n.r.	0,68	0,28	1,00	0,69	0,72	0,87	1,06	
OGS_6			FS38A												
OGS_6			FS38B												
OGS_6			FS39A												
OGS_7		154,5	FS39B	0,73	1,15	1,05	1,00	0,80	0,48	0,97	0,69	0,63	0,94	1,24	
OGS_7			FS40A												
OGS_8		162,5	FS42A	n.r.	1,27	1,05	1,00	0,92	0,67	0,94	n.r.	0,53	1,00	1,43	
OGS_8			FS43A												
OGS_8			FS44A												
OGS_9		175,2	FS45A	n.r.	0,98	0,96	0,76	0,77	0,87	0,75	0,47	0,74	1,00	1,11	
OGS_9			FS47A												
OGS_9			FS48A												

Campagna di misura e scenario, indice per tratto				n°1/09 estate 5%	n°2/09 autunno 15%	n°3/10 inverno 15%	n°4/10 primavera 15%	n°5/10 estate 5%	n°6/10 autunno 15%	n°7/11 inverno 15%	n°8/11 primavera 10%	n°9/11 estate 5%	n°10/11 autunno 15%	n°11/12 inverno 15%	n°12/12 primavera 15%
Tratto	**Sottotratto**	**km tratto**	**Stz**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**	**STAR ICMi – ISA**
OGS_10		186,8	FS50A	n.r.	0,70	0,88	0,52	0,63	1,07	0,57	0,47	0,95	n.r.	0,80	
OGS_10			FS52A												
OGS_10			FS52B												
OGS_10			FS52C												
OGS_10			FS53A												
OGS_10			FS53B												
OGS_10			FS53C												
OGS_11		203,0	FS55A	0,50	0,52	0,61	n.r.	0,56	0,68	0,63	0,51	0,79	0,81	1,08	
OGS_11			FS56A												
OGS_11			FS57A												
OGS_11			FS58A												
OGS_11			FS59A												
OGS_11			FS59B												
OGS_11			FS59S												
OGS_11			FS59T												
OGS_11			FS60A												
OGS_11			FS62A												
OGS_11			FS63A												
OGS_12		219,0	FS64A	0,66	0,66	0,61	0,68	0,56	0,83	0,71	0,67	0,86	0,76	0,98	
OGS_13		227,3	FS67A	0,82	0,79	n.r.	0,68	n.r.	0,99	0,79	0,84	0,93	0,71	0,88	
OGS_13			FS68A												
OGS_14		234,7	FS70A	0,64	0,66	0,36	0,74	0,74	0,88	0,63	0,52	0,93	0,72	0,88	
OGS_14			FS71A												
OGS_14			FS72A												
OGS_14			FS73A												
OGS_14			FS74A												
OGS_14			FS74S												
OGS_15		240,5	FS74T	0,46	0,53	0,36	0,81	0,74	0,77	0,47	0,21	n.r.	0,73	0,88	
OGS_15			FS75A												
OGS_15			FS77A												
OGS_15			FS78A												
OGS_15			FS78B												
OGS_15			FS79A												
OGS_15			FS79B												
OGS_16		259,0	FS79C	0,74	0,79	0,44	0,70	0,67	0,67	0,71	0,58	0,86	0,83	1,15	
OGS_16		266,7	FS80A												

Tab. III - Valori medi stagionali e deviazione standard dell'indice STAR, per i campioni ottenuti con l'utilizzo del retino surber, e dell'ISA, per i campioni ottenuti con i substrati artificiali, per tratto fluviale.

Media stagionale e scenario, per tratto			indice	STAR ICMi – ISA Estate		STAR ICMi – ISA Autunno		STAR ICMi – ISA Inverno		STAR ICMi – ISA Primavera	
Tratto	**Sottotratto**	**km tratto**	**Stz**	**media**	**dev.st**	**media**	**dev.st**	**media**	**dev.st**	**media**	**dev.st**
OGS_1	1A	110,9	FN01A								
OGS_1	1B	112,1	STA03								
OGS_1	2A	113,3	FN04A								
OGS_1	2B	114,0	STB06								
OGS_1	3A	114,6	FN07A								
OGS_1	3B	115,7	STC08								
OGS_1	4A	117,8	FN09A								
OGS_1	4A		FN11A								
OGS_1	4B	119,7	STD12								
OGS_1	4B		STD14	0,47	0,07	0,35	0,11	0,34	0,05	0,44	
OGS_1	5A	122,7	FN15A								
OGS_1	5B	124,2	STE16								
OGS_1	5B		STE18								
OGS_1	6A	125,7	FN19A								
OGS_1	6A		FN21A								
OGS_1	7A	128,6	FN22A								
OGS_1	7A		FN24A								
OGS_1	7A		FN25A								
OGS_1	7B	131,6	STF26								
OGS_2		135,1	FN27A	0,64	0,07	0,71	0,27	0,45	0,07	0,46	
OGS_3		136,4	FN28A								
OGS_3			FN30A	0,71	0,09	0,85	0,33	0,49	0,08	0,47	
OGS_3			FS30B								
OGS_4		141,3	FS31A	0,77	0,13	1,00		0,53		0,48	
OGS_4			FS32B								
OGS_5		143,6	FS33A	0,74	0,07	0,86	0,39	0,78	0,29	0,58	
OGS_5			FS35A								
OGS_6		147,2	FS36A								
OGS_6			FS38A	0,71	0,03	0,73	0,40	1,03	0,04	0,69	
OGS_6			FS38B								
OGS_6			FS39A								
OGS_7		154,5	FS39B	0,62	0,09	0,86	0,34	1,08	0,14	0,84	
OGS_7			FS40A								
OGS_8		162,5	FS42A								
OGS_8			FS43A	0,53	0,27	0,98	0,30	1,14	0,26	1,00	
OGS_8			FS44A								
OGS_9		175,2	FS45A								
OGS_9			FS47A	0,66	0,02	0,93	0,09	0,94	0,26	0,75	
OGS_9			FS48A								

Media stagionale e scenario, per tratto			indice	STAR ICMi – ISA Estate		STAR ICMi – ISA Autunno		STAR ICMi – ISA Inverno		STAR ICMi – ISA Primavera	
Tratto	**Sottotratto**	**km tratto**	**Stz**	**media**	**dev.st**	**media**	**dev.st**	**media**	**dev.st**	**media**	**dev.st**
OGS_10		186,8	FS50A	0,79	0,23	0,88	0,26	0,75	0,16	0,50	
OGS_10			FS52A								
OGS_10			FS52B								
OGS_10			FS52C								
OGS_10			FS53A								
OGS_10			FS53B								
OGS_10			FS53C								
OGS_11		203,0	FS55A	0,62	0,15	0,67	0,14	0,77	0,26	0,51	
OGS_11			FS56A								
OGS_11			FS57A								
OGS_11			FS58A								
OGS_11			FS59A								
OGS_11			FS59B								
OGS_11			FS59S								
OGS_11			FS59T								
OGS_11			FS60A								
OGS_11			FS62A								
OGS_11			FS63A								
OGS_12		219,0	FS64A	0,75	0,15	0,75	0,09	0,80	0,19	0,63	
OGS_13		227,3	FS67A	0,88	0,08	0,83	0,15	0,84	0,06	0,76	
OGS_13			FS68A								
OGS_14		234,7	FS70A	0,74	0,15	0,75	0,11	0,70	0,26	0,63	
OGS_14			FS71A								
OGS_14			FS72A								
OGS_14			FS73A								
OGS_14			FS74A								
OGS_14			FS74S								
OGS_15		240,5	FS74T	0,60	0,20	0,68	0,13	0,57	0,27	0,51	
OGS_15			FS75A								
OGS_15			FS77A								
OGS_15			FS78A								
OGS_15			FS78B								
OGS_15			FS79A								
OGS_15			FS79B								
OGS_16		259,0	FS79C	0,76	0,10	0,76	0,09	0,77	0,36	0,64	
OGS_16		266,7	FS80A								

Tab. IV – Valori dell'indice IBMR per tratto per le 3 campagne di misura estive e valore medio stagionale per tratto fluviale.

Tratto	Sottotratto	km tratto	Stz	n°1/2009		n°5/2010		n°9/2011		media tre anni			
										IBMR		EQR	
				IBMR	EQR	IBMR	EQR	IBMR	EQR	media	dev.st.	media	dev.st.
OGS_1	1A	110,9	FN01A										
OGS_1	1B	112,1	STA03										
OGS_1	2A	113,3	FN04A										
OGS_1	2B	114,0	STB06										
OGS_1	3A	114,6	FN07A										
OGS_1	3B	115,7	STC08										
OGS_1	4A	117,8	FN09A										
OGS_1	4A		FN11A										
OGS_1	4B	119,7	STD12										
OGS_1	4B		STD14	8,34	0,79	8,27	0,79	7,76	0,74	8,12	0,79	0,77	0,07
OGS_1	5A	122,7	FN15A										
OGS_1	5B	124,2	STE16										
OGS_1	5B		STE18										
OGS_1	6A	125,7	FN19A										
OGS_1	6A		FN21A										
OGS_1	7A	128,6	FN22A										
OGS_1	7A		FN24A										
OGS_1	7A		FN25A										
OGS_1	7B	131,6	STF26										
OGS_2		135,1	FN27A	9,11	0,87	9,29	0,88	9,00	0,86	9,13	0,08	0,87	0,01
OGS_3		136,4	FN28A										
OGS_3			FN30A	9,33	0,89	9,44	0,90	8,61	0,82	*9,13*	*0,70*	*0,87*	*0,06*
OGS_3			FS30B										
OGS_4		141,3	FS31A	9,54	0,91	9,60	0,91	8,21	0,78	9,12	1,31	0,87	0,12
OGS_4			FS32B										
OGS_5		143,6	FS33A	8,66	0,82	9,00	0,86	9,19	0,88	8,95	0,16	0,85	0,01
OGS_5			FS35A										
OGS_6		147,2	FS36A										
OGS_6			FS38A	10,03	0,96	9,97	0,95	8,25	0,79	9,42	0,99	0,90	0,09
OGS_6			FS38B										
OGS_6			FS39A										
OGS_7		154,5	FS39B	9,38	0,90	9,46	0,90	8,67	0,83	*9,17*	*0,55*	*0,87*	*0,05*
OGS_7			FS40A										
OGS_8		162,5	FS42A										
OGS_8			FS43A	8,72	0,83	8,95	0,85	9,08	0,87	8,92	0,11	0,85	0,01
OGS_8			FS44A										
OGS_9		175,2	FS45A										
OGS_9			FS47A	9,63	0,92	7,85	0,75	9,89	0,94	9,12	0,64	0,87	0,06
OGS_9			FS48A										
OGS_10		186,8	FS50A										
OGS_10			FS52A										
OGS_10			FS52B										
OGS_10			FS52C	9,39	0,89	8,53	0,81	9,01	0,86	*8,98*	*0,96*	*0,86*	*0,09*
OGS_10			FS53A										
OGS_10			FS53B										
OGS_10			FS53C										

Tratto	Sottotratto	km tratto	Stz	n°1/2009		n°5/2010		n°9/2011		media tre anni			
										IBMR		EQR	
				IBMR	EQR	IBMR	EQR	IBMR	EQR	media	dev.st.	media	dev.st.
OGS_11		203,0	FS55A	9,16	0,87	9,21	0,88	8,14	0,78	8,84	1,27	0,84	0,12
OGS_11			FS56A										
OGS_11			FS57A										
OGS_11			FS58A										
OGS_11			FS59A										
OGS_11			FS59B										
OGS_11			FS59S										
OGS_11			FS59T										
OGS_11			FS60A										
OGS_11			FS62A										
OGS_11			FS63A										
OGS_12		219,0	FS64A	8,72	0,83	8,75	0,83	7,29	0,70	*8,26*	*0,94*	*0,79*	*0,09*
OGS_13		227,3	FS67A	8,29	0,79	8,29	0,79	6,45	0,61	7,67	0,61	0,73	0,06
OGS_13			FS68A										
OGS_14		234,7	FS70A	8,76	0,83	8,76	0,83	8,04	0,77	8,52	0,24	0,81	0,02
OGS_14			FS71A										
OGS_14			FS72A										
OGS_14			FS73A										
OGS_14			FS74A										
OGS_14			FS74S										
OGS_15		240,5	FS74T	8,57	0,82	8,57	0,82	6,70	0,64	8,05	0,36	0,77	0,03
OGS_15			FS75A										
OGS_15			FS77A										
OGS_15			FS78A										
OGS_15			FS78B										
OGS_15			FS79A										
OGS_15			FS79B										
OGS_16		259,0	FS79C	8,53	0,81	8,33	0,79	6,36	0,61	7,74	0,69	0,74	0,07
OGS_16		266,7	FS80A										